

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## TECHNOLOGIE VÝROBY NEROTAČNÍ SOUČÁSTI S PŘÍRUBOU

THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF UNROTARY PART WITH FLANGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mgr. ZDENĚK PŘIKRYL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAELA CÍSAŘOVÁ

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Mgr. Zdeněk Přikryl

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Technologie výroby nerotační součásti s přírubou**

v anglickém jazyce:

### **The Production Technology of unrotary part with flange**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na technologii tažení nerotačních součástí s přírubou. V práci by měla být uvedena problematika tažení od jednoduchých až po tvarově složitějších nerotačních součástí s přírubou.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování aktuální literární studie se zaměřením na technologii tažení nerotačních součástí s přírubou. Návrh vhodné technologie a vypracování postupu výroby součásti, provedení technologických výpočtů, návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické zhodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

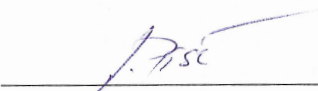
- TIŠNOVSKÝ, M. a MÁDLE, L. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.
- DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
- NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.
- BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
- FREMUNT, Přemysl; KREJČÍK, Jiří a PODRÁBSKÝ, Tomáš. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Císařová

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu



  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Práce pojednává o použití technologie tváření pro výrobu nerotačních součástí s přírubou. V úvodu se zabývá technologií tváření obecně. Dále zahrnuje problematiku tažení od jednoduchých až po tvarově složitější nerotační součásti s přírubou. V další části práce obsahuje zhodnocení způsobů výroby krytu řemenového převodu vzhledem k požadavkům na sériovost a výslednou přesnost a kvalitu. Navazující část obsahuje návrh technologie výroby krytu řemenového převodu pomocí tváření z plechu.

V následujících částech se práce věnuje vypracování přesného technologického postupu výroby součástí, provedení technologických výpočtů a návrhu sestavy nástroje. Závěrem práce je technicko-ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby.

## **Klíčová slova**

Technologie tváření, plech, nerotační součást, příruba, tvářecí síla, přístřih, počet tažných operací, přidržovač, tažná vůle, tažný poloměr.

## **ABSTRACT**

Study describes application of forming technology for the production of unrotary parts with flange. The Study considers preliminary technology of forming processes in general. Further includes problems about drawing of unrotary parts with flange from singular to complex shaped. The next part of study includes evaluation of methods of the production belt gear shelter considering product criterias for series production and final accuracy and quality. Following part includes suggestion of the production technology of belt gear shelter using sheet metal forming. In the next parts of the study attends to accurate technological process elaboration of the components, to technological calculations and to project tool configuration. In conclusion the study includes technoeconomic evaluation of propred technology production.

## **Key words**

Forming technology, sheet metal, unrotary part, flange, forming power, blank, number of drawing operations, holder, drawing clearance, drawing radius.

**Bibliografická citace mé práce:**

PŘIKRYL, Zdeněk. *Technologie výroby nerotační součásti s přírubou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Císařová.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Technologie výroby nerotační součásti s přírubou“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 18.5.2011

.....

Jméno a příjmení bakaláře

## **Poděkování**

Děkuji tímto Ing. Michaele Císařové za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Děkuji také panu Aleši Hodinářovi a Zdeňku Hodinářovi, jednatelům firmy Alhozd, spol. s r.o., kteří mi, jako jejich zaměstnanci, umožnili použít pro vypracování technické dokumentace CAD program ProEngineer a poskytli část duševního vlastnictví firmy, jako podklady pro vypracování bakalářské práce.

## OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 1.    | ÚVOD .....   | 9         |
| 2.    | POPIS TECHNOLOGIE TAŽENÍ.....                            | 10        |
| 2.1   | Princip tažení .....                                     | 10        |
| 2.1.1 | <b>Tažení výtažků rotačních tvarů .....</b>              | <b>12</b> |
| 2.1.2 | <b>Tažení výtažků nerotačních tvarů.....</b>             | <b>22</b> |
| 2.1.3 | <b>Mazání při tažení .....</b>                           | <b>27</b> |
| 3.    | VÝROBA UNIFIKOVANÉHO KRYTU ŘEMENOVÉHO PŘEVODU .....      | 30        |
| 3.1   | Výroba krytu řemenového převodu svařováním.....          | 30        |
| 3.2   | Výroba krytu řemenového převodu tažením za studena ..... | 31        |
| 3.2.1 | <b>Určení velikosti přístřihu .....</b>                  | <b>32</b> |
| 3.2.2 | <b>Určení počtu tažných operací .....</b>                | <b>34</b> |
| 3.2.3 | <b>Určení tažné síly.....</b>                            | <b>34</b> |
| 3.2.4 | <b>Určení tažného poloměru .....</b>                     | <b>35</b> |
| 3.2.5 | <b>Určení tažné vůle .....</b>                           | <b>35</b> |
| 3.2.6 | <b>Určení tažné rychlosti.....</b>                       | <b>35</b> |
| 4.    | TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....                    | 36        |
| 5.    | ZÁVĚR.....   | 38        |
| 6.    | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....                             | 39        |
| 7.    | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....                 | 41        |
| 8.    | SEZNAM PŘÍLOH .....                                      | 43        |



# 1. ÚVOD

Zvolené téma „Technologie výroby nerotační součásti s přírubou“, jsem si vybral z důvodu mého zaujetí pro navrhování lisovacích nástrojů ať už v oblasti stříhání, nebo tváření. V mé konstruktérské praxi jsem pět a půl roku konstruoval střížné a jiné nástroje pro mechanické výstředníkové lisy a hydraulické lisy značky FEINTOOL se zaměřením na výrobu komponent pro kloubové řetězy.

Na technologii tváření mě nejvíce zaujala možnost výrazně zefektivnit výrobu plechových tvarových součástí ve větších sériích. Nyní již 6 let pracuji ve firmě zabývající se výrobou plovoucích těžebních strojů. Často se potýkám se složitostí výroby krytů různých pohonů a řemenových převodů metodou svařování vypálených a ohnutých tvarových plechů tloušťky 2 mm. Vzhledem k možné unifikaci krytů pro různé podobné typy pohonů podobných těžebních strojů a zařízení jsem přistoupil k tomu, abych navrhl technologii výroby unifikovaného krytu efektivnějším způsobem při předpokládané sérii 3 000 ks/rok.

Cílem bakalářské práce bude prozkoumat a posoudit možnosti výroby unifikovaného krytu řemenového převodu způsobem tváření nerotační součásti s přírubou. Dále vypracovat přesný technologický postup výroby součásti, provést technologické výpočty a navrhnout sestavu nástroje.

Jako dílčí cíle bakalářské práce jsem si v první řadě zvolil podrobnější popis technologie tažení se zaměřením na určení velikosti a tvaru přístříhu, určení počtu tažných operací, tažné vůle a tažné rychlosti.

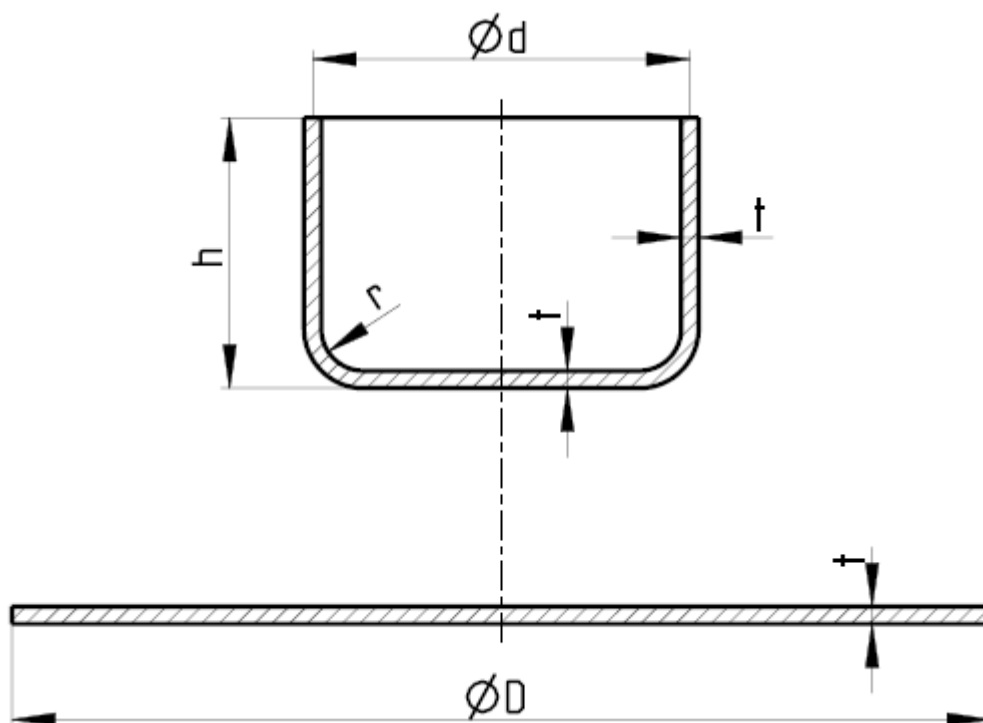
V bakalářské práci jsem se dále zaměřil na technicko-ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby.

## 2. POPIS TECHNOLOGIE TAŽENÍ

### 2.1 Princip tažení

„Tažením se v lisovací technice“ podle [1], [6], [11] „rozumí trvalé přetváření plechu v dutá tělesa pomocí lisovacích nástrojů – *tažidel*. Výchozí plochý polotovár, tzv. *přístřih*, se tažením na lise přetváří tažidlem miskovitěho tvaru výtažku.“

Tažením lze docílit jedním, nebo více tahy, přesné změny tvaru plechové součásti z plochého polotovaru na námi navrhnutý tvar rotační, či nerotační součásti. Konečný tvar je dán tvarem a konstrukcí nástroje; jakost povrchu a přesnost zase konstrukčním provedením a přesností nástroje. Tvary a velikosti výtažků jsou velmi rozmanité. Jednoduché tvary malého stupně přetvoření jsou taženy na jednu operaci, složitější a hlubší výtažky vyžadují ke svému dokončení dvou i více tažných operací.

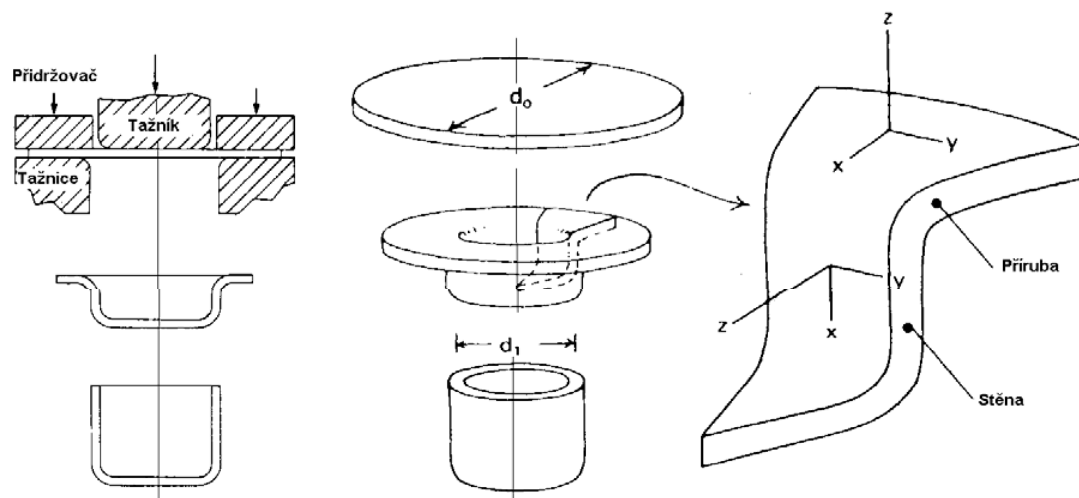


Obr. 2.1 Přístřih a výtažek

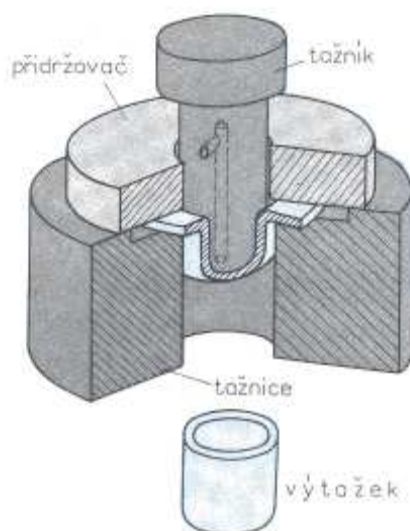
Zpravidla se předpokládá, že tloušťka materiálu se nemění. Ve skutečnosti dochází k nepatrným změnám v tloušťce stěny výtažku v místech největší deformace, což je například dle obr. 2.1 v místě ohybu o poloměru  $r$ . V těchto místech se tažený materiál zeslabuje a na okrajích výtažku se tloušťka zase zvětšuje. Tyto změny jsou způsobeny rozdílnou napjatostí v různých místech výtažku, ale pro výpočty se zanedbávají.

Podle obrázku 2.2 a 2.3 je chápán proces tažení takto: přístřih se vloží na vymezené místo do nástroje; jedním zdvihem stroje dojde ke změně tvaru plochého přístřihu tak, že tlakem tažníku je postupně vtažen materiál přístřihu do otvoru v tažnici, zatímco přidržovač usměrňuje tok materiálu, aby nedocházelo ke zvlnění způsobeném pěchováním materiálu před změnou tvaru. Přidržovač také umožní dosáhnout kvalitního povrchu a tvaru příruby, což je zbytek nevtaženého materiálu přístřihu, který je nutné v případě požadovaného přesného

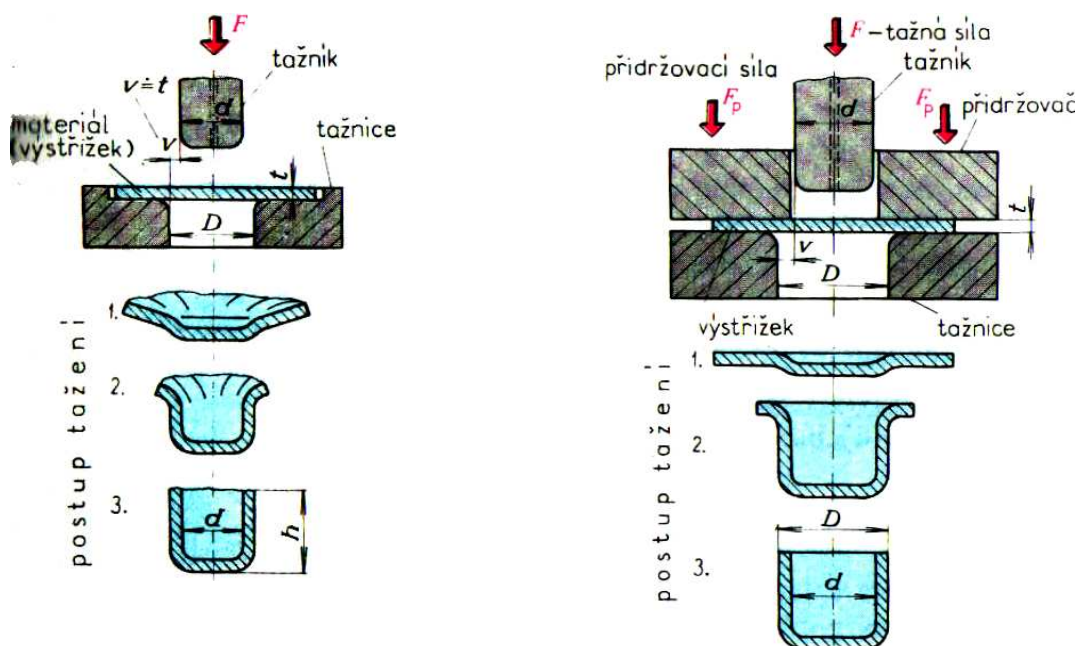
tvaru příruby ostříhnout. Rozdíl mezi výtažkem taženým v nástroji s přidržovačem a bez použití přidržovače je uveden na obr. 2.4.



Obr. 2.2 Princip tažení, výtažek, segment výtažku [9]



Obr. 2.3 Řez tažidlem a výtažkem, výtažek [12]



Obr. 2.4 Účel přidržovače [12]

Při tažení na jeden tah je po ukončení pracovního pohybu stroje možné vyjmout z nástroje hotový výtažek. V případě složitějších tvarů, respektive hlubších výtažků, se provádí několik tahů za sebou, a to tažníky se zmenšujícím se průměrem až k požadovanému a se zvyšující se délkou. K tažení dochází na postupovém nástroji, kde krokem – posunutím polotovaru o danou vzdálenost – je přemístěn přístřih, respektive tvar po prvním a následujících tazích, pod další tažník upnutý na tomtéž nástroji.

Princip víceoperačního tažení spočívá v tom, že vždy v následující operaci se použije jako vstupní polotovar výtažek z předešlé operace.

### 2.1.1 Tažení výtažků rotačních tvarů

Při technickém rozboru konkrétního zadání při tažení je nezbytné vyšetřit tyto vlastnosti (nejprve pro rotační výtažky) [1], [11]:

**TAŽNÁ SÍLA** – je to maximální síla, kterou mohou stěny výtažku přenášet.

Tato síla se vypočte:  $F = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m$  [N] (1)

kde:  $F$  - maximální tažná síla přenášena stěnami výtažku [N]  
 $d$  - střední  $\varnothing$  výtažku (tj. vnější  $\varnothing$  bez tloušťky stěny) [mm]  
 $t$  - tloušťka taženého materiálu [mm]  
 $R_m$  - pevnost taženého materiálu v tahu [MPa]

Při větší síle dochází zpravidla k utržení dna výtažku.

V praxi se tento jednoduchý vzorec často používá k přibližnému výpočtu potřebné síly v lisu. Ve skutečnosti však stěny výtažku nepřenášejí celou tažnou sílu, protože ta je částečně přenášena i třením mezi výtažkem a tažníkem.

Potřebné hodnoty pevností materiálů jsou k nalezení v materiálovém listu daného materiálu, nebo je možno čerpat ze strojnických tabulek. Pro běžnou ocel pro plechy uvádí

zdroj [7] pevnost  $R_m=340 \div 420$  MPa. Tvářením se materiál zpevňuje, a proto zdroj uvádí hodnoty dvě, nižší platí pro materiál vyžíhaný, vyšší pro materiál tvářením za studena zpevněný tak, že je nutno jej vyžíhat.

**Skutečná tažná síla** bývá obvykle poněkud nižší, než síla maximální a závisí na redukci průměru přístřihu. Jednoduše a s dostatečnou přesností se určí různými empirickými vzorci, např. [1], [11]:

$$F_t = F \cdot \left( \frac{D}{d} - 0,7 \right) \text{ [N]} \quad (2)$$

kde:  $F_t$  - skutečná tažná síla [N]  
 $D$  - Ø přístřihu [mm]

Při přesnějším výpočtu potřebného mechanického tažného lisu se musí přihlížet i k délce výtažku, protože tyto lisy nejsou konstruovány tak, aby mohly působit maximální silou po celou délku zdvihu. **Potřebná síla lisu** se přesněji určí takto:

$$F_l = F_t \cdot A \text{ [N]} \quad (3)$$

kde:  $F_l$  - potřebná síla lisu [N]  
 $A$  - součinitel délky výtažku [-]

Hodnoty součinitele  $A$ , které závisí na délce výtažku, jsou uvedeny v tabulce 1.

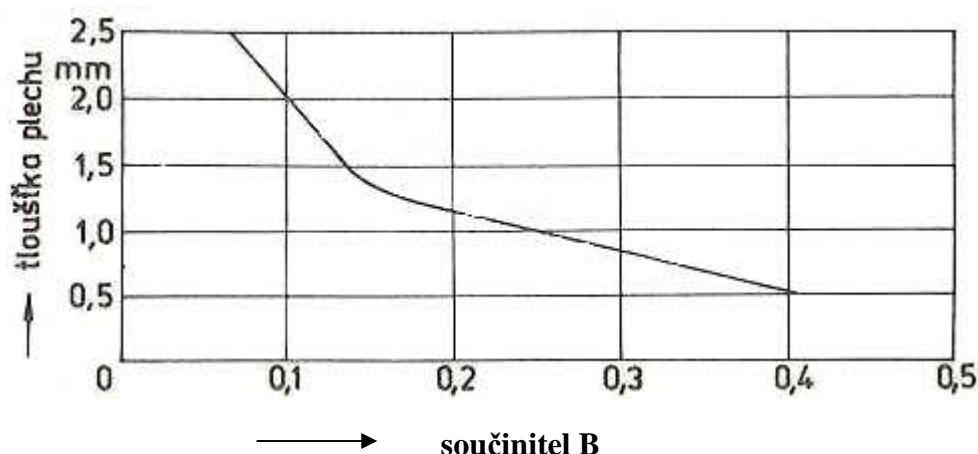
Tab. 1. Hodnoty součinitele délky výtažku [11]

| Délka výtažku [mm] | A [-] |
|--------------------|-------|
| do 25              | 1     |
| od 25 do 50        | 1,5   |
| od 50 do 75        | 1,75  |
| od 75 do 100       | 2     |
| od 100 do 150      | 2,5   |
| od 150 do 200      | 2,75  |
| od 200 do 250      | 3     |
| od 250 do 300      | 2,25  |
| od 300 do 350      | 2,5   |
| od 350 do 400      | 2,75  |
| od 400 do 450      | 4     |
| od 450 do 500      | 4,25  |
| od 500 do 550      | 4,5   |
| od 550 do 600      | 4,75  |

Použije-li se při tažení pneumatický nebo pružinový přidržovač, musí se vypočítaná potřebná síla lisu ještě zvětšit o *sílu nutnou ke stlačení přidržovače*, která se přibližně určí takto:

$$F_p = F_t \cdot B \quad [\text{N}] \quad (4)$$

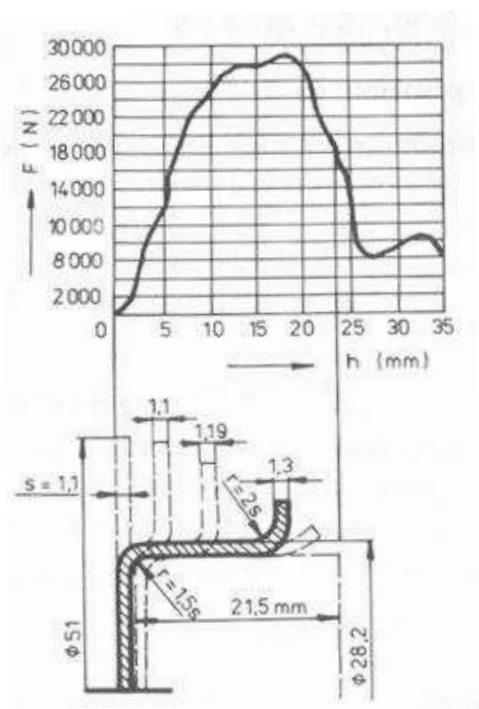
kde:  $F_p$  - přidržovací síla [N]  
 $B$  - součinitel pro výpočet přidržovací síly [-]



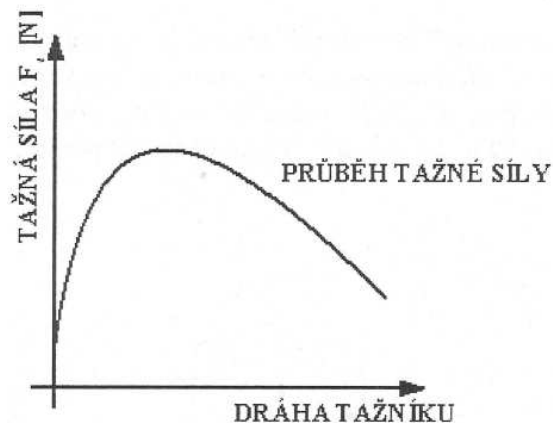
Obr. 2.1.1 Graf určení součinitele B [11]

Hodnota součinitele B, která závisí na tloušťce taženého materiálu, se určí z grafu na obrázku 2.1.1.

Matematické vztahy pro přesný výpočet síly jsou poměrně komplikované, a proto se zjednodušují. Praktické vzorce vycházejí z toho, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší, než napětí na mezi pevnosti. Tedy největší tažná síla musí být o něco menší, než síla, která způsobí utržení dna výtažku od bočních stěn. Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení je ukázán na obrázku. Z diagramu v obrázku 2.1.2 je patrné, že síla se mění od nuly po maximum asi v polovině tahu a potom opět klesá.



Obr. 2.1.2 Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení [12]



Obr. 2.1.3 Průběh tažné síly [5]

**SOUČINITEL (REDUKCE) PŘI TAŽENÍ** – jedná se o poměr průměru přístřihu ku průměru dna při prvním tahu. U následujících tahů se součinitel tažení určí jako poměr průměru vzniklého následujícím tahem ku průměru předchozímu.

Při jednom tahu má určitou maximální hodnotu, jestliže se tato hodnota překročí, dojde k vyčerpání plasticity materiálu a následuje poškození výtažku. Z toho plyne, že z přístřihu o určitém průměru lze na jeden tah vytáhnout výtažek o určitém nejmenším průměru.

Aby při tažení nastala požadovaná trvalá deformace taženého materiálu, musí napětí v taženém kovu (způsobené tažnou silou) převýšit sílu na mezi kluzu, aby se však soudržnost taženého materiálu při tažení neporušila, nesmí tažná síla převýšit jeho pevnost v tahu. Ve vzorci č. 2 pro skutečnou tažnou sílu platí, že se zvětšujícím se poměrem  $D/d$  roste i velikost tažné síly. Maximální hodnoty se dosáhne, když se výtažku začne vytrhávat dno. Pro tažení se proto použije součinitel menší, aby při dostatečném využití tažidla nevznikaly zmetky.

Není-li v prvním tahu dosaženo požadované redukce průměru přístřihu, redukuje se průměr výtažku z prvního tahu dále ve druhém, popř. ještě v dalších tazích. Protože se materiál tvářením za studena zpevňuje, přičemž však mez kluzu stoupá rychleji, než jeho mez pevnosti, zmenšuje se v druhém a dalších tazích způsobilost materiálu k tvářením za studena a dosažitelná redukce průměru se tím snižuje. Odstraní-li se toto zpevnění například žíháním, může se opět volit redukce maximální.

Součinitel při tažení se určuje buď výpočtem, nebo graficky. Například ve vzorci pro výpočet tažné síly je použit zlomek  $D/d$ , což je poměr výchozího průměru polotovaru k průměru výtažku; podobně lze tento poměr použít i v dalších tazích. Například  $d_1/d_2$ , kde  $d_1$  je průměr prvního tahu a  $d_2$  průměr druhého tahu.

V některých publikacích se součinitel při tažení označuje  $m$ , kde pro první tah je

$$m_1 = \frac{d_1}{D} \quad [-], \quad (5)$$

kde:  $m_1$  - součinitel při tažení pro první tah [-]  
 $d_1$  - střední  $\emptyset$  prvního tahu [mm]

pro druhý tah 
$$m_2 = \frac{d_2}{d_1} \quad [-], \quad (6)$$

kde:  $m_2$  - součinitel při tažení pro druhý tah [-]  
 $d_2$  - střední  $\emptyset$  druhého tahu [mm]  
atd.

Označením redukce se označuje součinitel při tažení vyjádřený v procentech takto:

$$R_1 = \frac{D - d_1}{D} \cdot 100 \text{ v } \% \quad (7)$$

kde:  $R_1$  - redukce původního  $\emptyset$  přístřihu v % pro první tah a potom pro druhý tah:

$$R_2 = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \cdot 100 \text{ v } \%, \quad (8)$$

kde:  $R_2$  - redukce  $\emptyset$  prvního tahu v %

Pro třetí a další tahy je to analogické.

Vyjadřování redukce při tažení v procentech je nejpoužívanější. V tabulce 2 jsou optimální hodnoty procentních redukcí při tažení v prvních a dalších tazích pro ocel, v různých tloušťkách materiálů.

Součinitel tažení  $m$  lze potom z redukce  $R$  určit takto:

$$m = \frac{100 - R}{100} \cdot 100 [-]. \quad (9)$$

Tab. 2. Tabulka hodnot redukcí při prvním a následujících tazích [11]

| tažený materiál a jeho tloušťka [mm] | redukce původního průměru v % |      |        |      |        |      |        |      |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
|                                      | 1. tah                        |      | 2. tah |      | 3. tah |      | 4. tah |      |
|                                      | bež.                          | max. | bež.   | max. | bež.   | max. | bež.   | max. |
| plechy ocelové                       |                               |      |        |      |        |      |        |      |
| do 1,6                               | 40                            | 47   | 20     | 25   | 18     | 20   | 16     | 18   |
| od 1,6 do 3,2                        | 40                            | 47   | 15     | 18   | 14     | 15   | 13     | 14   |
| od 3,2 do 4,8                        | 40                            | 47   | 12     | 15   | 11     | 12   | 10     | 11   |
| od 4,8 do 6,4                        | 40                            | 47   | 10     | 12   | 9      | 10   | 8      | 9    |
| přes 6,4                             | 40                            | 47   | 8      | 10   | 7      | 8    | 6      | 7    |

**URČENÍ VELIKOSTI PŘÍSTŘIHU** – velikost přístřihu, podle [2], [11] u výtažků válcovitého tvaru lze určit výpočtem, přičemž se vychází z toho, že objem kovu ve výtažku i v přístřihu je shodný. Okraje výtažku bývají obvykle různě zdeformované a nerovné – vzniká tzv. cípatost, proto se přidává cca 10 % k rozměru polotovaru, tzv. rondelu, aby byl zajištěn dostatek materiálu na ostřížení výstřižku a dostali jsme výtažek požadovaného tvaru a rozměru v očekávané kvalitě. V takovém případě se volí velikost přístřihu větší a výpočet není potřeba provádět přesně a neuvažuje se při něm obvykle ani zaoblení v rozích dna výtažku.

Při určování velikosti průměru přístřihu  $D$  [mm] součásti z obr. 2.1, pro válcovitý výtažek o středním průměru  $d$  [mm], a výšce  $h$  [mm], se rozdělí výtažek na jednoduché základní části, tj. na dno o průměru  $d'$  [mm] o tloušťce  $t$  [mm], na stěny tvořené válcovitým mezikružím o středním průměru  $d$  [mm] (je to průměr dna plus jedna tloušťka plechu - tzn. z každé strany se přičítá půlka tloušťky plechu) a výšce  $h$  [mm] a na plochu čtvrtkruhového prstence, který kopíruje zaoblení u dna výtažku. Objem kovu v celém výtažku se musí rovnat součtu objemů kovu v těchto základních částech (tj. zákon o zachování objemu):

Často se používá výpočet přibližný, protože neuvažuje zaoblení rohů u dna, tedy plochu čtvrtkruhového prstence, který kopíruje zaoblení u dna výtažku – jedná se o vzorec:

$$V = \left( \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot t \right) + (\pi \cdot d \cdot h \cdot t) \text{ [mm}^3\text{]} \quad (10)$$

Tento objem kovu musí být shodný s objemem kovu v přístřihu:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot t \text{ [mm}^3\text{]} \quad (11)$$

Sloučením a upravením těchto výrazů je odvozen vzorec pro výpočet průměru přístřihu pro válcový výtažek:



$$D = \sqrt{d^2 + 4dh} \text{ [mm]} \quad (12)$$

kde:  $h$  - výška výtažku [mm]

Přesnější hodnoty lze získat ze vztahu:

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh - 1,72dr} \text{ [mm]} \quad (13)$$

kde:  $r$  - zaoblení rohu u dna výtažku [mm]

Vztah 12 se používá k běžným výpočtům všude tam, kde zaoblení u dna je poměrně malé (asi do osminásobku tloušťky taženého materiálu) a tam, kde se výtažek po tažení zarovnáva ostřížením. Vztah 13, přesnější, se uplatní hlavně pro výtažky s větším zaoblením a tam, kde se výtažky po tažení nezarovnávají.

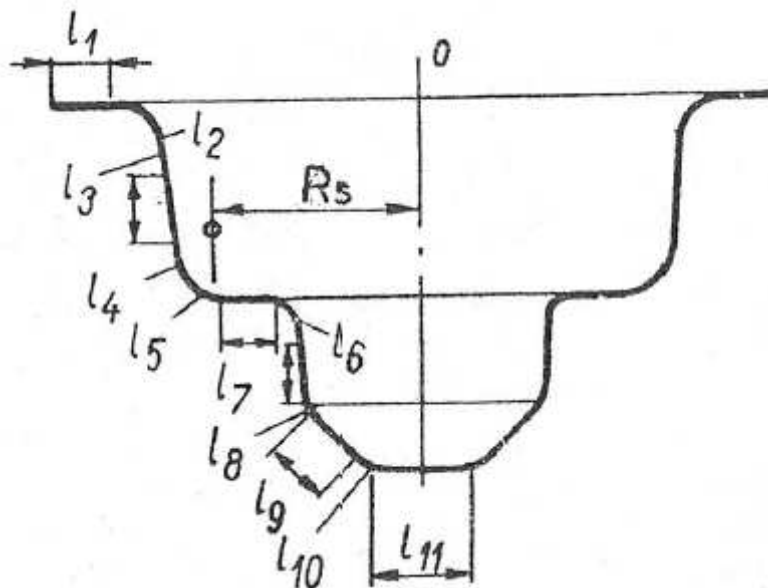
Ve vztazích se neuvažuje tloušťka materiálu, protože se při tažení nemění, kromě nepatrných změn v rozích a na okraji.

Určuje-li se velikost přístřihu pro složitější rotační výtažky, postupuje se obdobně. Výtažek se zase rozdělí na tvarově jednoduché části, výpočtem se určí velikost jednotlivých ploch a jejich součet se opět musí rovnat ploše přístřihu.

Velikost přístřihu pro tažení neválcových rotačních ploch (kužel, paraboloid, polokoule, atd.) součástí složitějšího tvaru, které nelze rozdělit na jednoduché tvary, se počítají na základě Guldinova pravidla graficko-analyticky nebo graficky. Princip Guldinova pravidla spočívá ve stanovení povrchu rotačního tělesa vytvořeného otáčením křivky libovolného tvaru podle osy, který se rovná součinu z délky tvořící křivky  $L$  [mm] a dráhy těžiště této křivky, jak je vidět na obr. 2.1.4. dle [5], dle vzorce 14.

$$S = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot L \text{ [mm}^2\text{]} \quad (14)$$

kde:  $S$  - povrch rotačního tělesa [mm<sup>2</sup>]  
 $x$  - vzdálenost těžiště od osy tělesa [mm]  
 $L$  - jednotlivé délky křivek [mm]



Obr 2.1.4 Rozdělení obrysu výtažku ke stanovení výstřihu [5]

Průměr výstřižku se pak stanoví ze vztahu

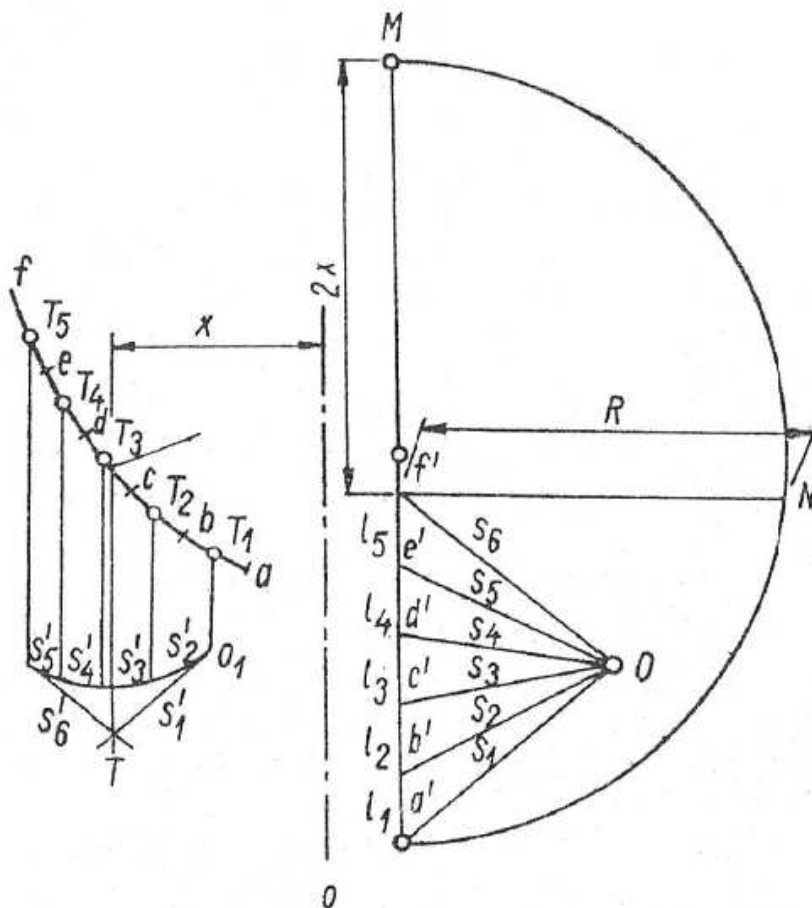
$$D = \sqrt{8 \cdot L_x} \quad [\text{mm}] \quad (15)$$

kde:  $L_x$  - součet součinu dílčích délek  $l$  a vzdáleností těžišť těchto délek od tělesa  $x$  [ $\text{mm}^2$ ]

$$L_x = l_1 \cdot x_1 + l_2 \cdot x_2 + l_3 \cdot x_3 + l_4 \cdot x_4 + \dots [\text{mm}^2] \quad (16)$$

Podle uvedeného pravidla se průměr výchozího materiálu stanoví následovně: nejprve se nanese tvořící křivka výtažku v určitém měřítku a rozdělí se na malé úseky  $l_1, l_2, l_3, \dots$ . Nejvýhodnější dělení je na jednotlivé úsečky a části oblouku. U každého úseku se stanoví jeho velikost a poloha těžiště. Výpočtem se poté ze stanovených veličin určí průměr výstřižku.

Průměr výstřižku stanovený pomocí grafické metody je stanoven na obr. 2.1.5. Křivka tvořící obrys výtažku se nakreslí v určitém měřítku a opět se rozdělí na jednotlivé úseky – úsečky a oblouky.



Obr. 2.1.5 Grafické stanovení velikosti přístřihu [5]

**URČENÍ POČTU TAŽNÝCH OPERACÍ** – se počítá podle maximální dosažitelné redukce na jeden tah. Nedosáhne-li se požadovaného tvaru na jeden tah, se musí volit operací více. Počet operací se určí pomocí známých hodnot redukcí v tabulce 2.

Ze vzorce 7 pro procentní redukci průměru přístřihu lze úpravou získat vzorec pro průměr prvního tahu (viz také obr. 2.1.6):

$$d_1 = D \cdot \left(1 - \frac{R_1}{100}\right) \text{ [mm]} \quad (17)$$

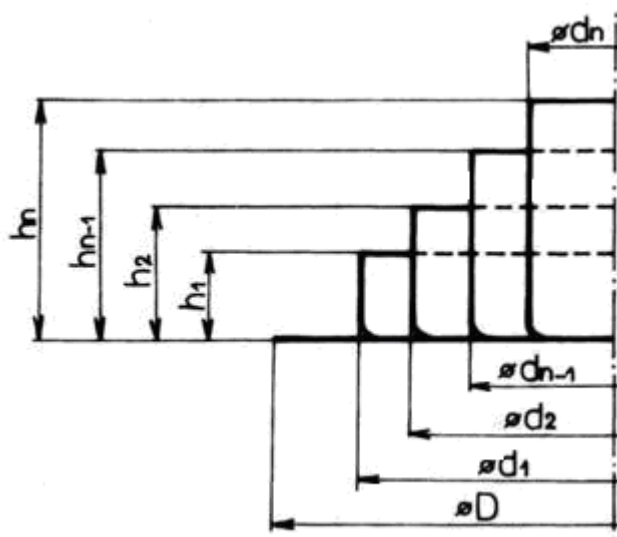
pro průměr výtažku druhého tahu:

$$d_2 = d_1 \cdot \left(1 - \frac{R_2}{100}\right) \text{ [mm]} \quad (18)$$

a pro všechny další tahy platí:

$$d_n = d_{(n-1)} \cdot \left(1 - \frac{R_n}{100}\right) \text{ [mm]} \quad (19)$$

kde index  $n$  u známých veličin označuje  $n$ -tý tah.



Obr. 2.1.6 Znárodnění víceoperačního tažení [3]

Při určování součinitelů tažení se vychází z vhodnosti plechu pro tažení. Pro hodnocení této tzv. hlubokotažnosti plechů bylo vypracování několik zkušebních metod, například metoda Engelhardtova, při níž se táhne válcový kalíšek průměru 30 mm, nebo zkouška hloubením podle Erichsena, které se však vyznačuje malou citlivostí a nedostatečnou rozlišovací schopností. [11]

**POUŽITÍ PŘIDRŽOVAČE** - u nízkých výtažků, tažených z poměrně tlustého materiálu většinou přidržovač potřeba není. Tažidla bez přidržovače jsou jednoduchá, levná a provozně spolehlivá, ale redukce při tažení musí být poměrně malá, jinak se začne okraj taženého přístřihu vlnit. Obvykle lze bez přidržovače táhnout při redukcích nižších než 10 %; závisí to na tloušťce taženého materiálu, tažné vůli a zaoblení tažné hrany.

Maximální redukci, kterou lze přístřih o ØD táhnout bez přidržovače lze určit podle empirického vzorce:

$$R_{\max} = 50 \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} + 100 \cdot (1 - c) \text{ v \%} \quad (20)$$

kde:  $R_{\max}$  - maximální redukce při tažení bez přidržovače v %

c - konstanta závislá na druhu taženého materiálu [-]

Hodnota konstanty c je pro hliník  $c = 1$ , pro měď a její slitiny je  $c = 0,975$ , pro ocel je  $c = 0,95$  [1].

V případě výtažků s přírubou je použití přidržovače nezbytné pro potlačení zvlnění příruby po operaci tažení. Slouží také k účelnému brzdění materiálu při tažení tvarově složitějších součástí.

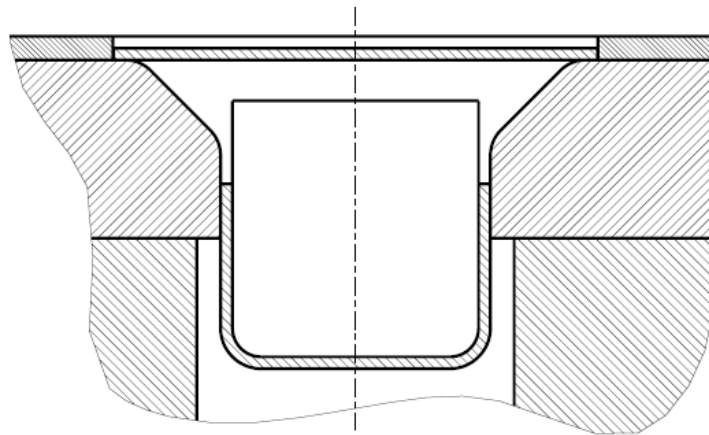
**TAŽNÝ POLOMĚR** – je dle [11] velikost zaoblení tažné hrany tažnice, přes kterou je kov tažen. Při volbě příliš malého tažného poloměru se tažený materiál trhá a při volbě velkého tažného poloměru zase dochází k nadměrnému zvlnění okraje přístřihu. Obvykle je velikost tažného poloměru v rozsahu 4 až 10násobku tloušťky taženého materiálu. Menší hodnoty se volí u malých redukci a tam, kde vyžadujeme rovný a nezvlněný okraj výtažku. Větší hodnoty tažného poloměru se určují pro větší redukce, aby se tak snížilo namáhání kovu při tažení.

Velikost tažného poloměru lze určit podle empirického vzorce:

$$r_t = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d_t) \cdot t} \quad [\text{mm}] \quad (21)$$

kde:  $r_t$  - tažný poloměr [mm]  
 $d_t$  - průměr tažníku [mm].

Někdy, zejména u prvních tahů, je výhodné tažnou hranu zkosit podle obrázku 2.1.7.



Obr. 2.1.7 Použití skosené tažné hrany u prvních tahů

**TAŽNÁ VŮLE** – je mezera mezi tažníkem a tažnicí, volí se zpravidla dle tabulek a je nezbytná, protože tloušťka plechu při tažení není konstantní. Například úměrně k redukci průměru se pěchováním materiálu tloušťka plechu částečně zvětšuje.

Podle [11], je tloušťka taženého materiálu prvním kritériem, na kterém závisí volba tažné vůle. Hlavním předpokladem u správně zvolené tažné vůle je snížení tření při přechodu taženého materiálu přes hranu tažnice. Tímto se zvyšuje trvanlivost nástroje a zároveň snižuje tažná síla. Je-li zvolena vůle příliš velká, může dojít ke zvlnění výtažku a zhoršení jakosti povrchu. Naopak při příliš malé vůli dojde k porušení výtažku - zadření. Při výpočtech počtu

tažných operací a konstrukci tažidel se pracuje s tažnou mezerou, kterou lze určit dle vztahu 22. Podle pořadí operace se velikost tažné mezery liší. Pro tažnou mezeru platí vztah:

$$m_t = \frac{v_t}{2} \text{ [mm]} \quad (22)$$

kde:  $m_t$  - tažná mezera [mm]  
 $v_t$  - tažná vůle [mm].

Tažná mezera  $m_t$  mezi tažníkem a tažnicí má být v první tažné operaci o málo větší, než je tloušťka plechu, aby se přebytečný materiál mohl při vytahování přemístit a nepřechoval se.

Podle normy ČSN jsou doporučeny hodnoty tažné mezery následující. Pro první tah:

$$m_t = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot t \text{ [mm]} \quad (23)$$

a pro další tažné operace

$$m_t = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot t \text{ [mm]} \quad (24)$$

Podle [4] příliš velká tažná mezera způsobuje vlnění pláště výtažku. Při kalibrování výtažku je tažná mezera rovna tloušťce plechu nebo může být dokonce i o málo menší, aby se dosáhlo čisté válcové plochy bez zborcení a vln. Pokud je tažná mezera podstatně menší, než je tloušťka zpracovávaného plechu, potom nastává ztenčení stěny výtažku, přičemž tloušťka dna zůstává stejná, jako byla původní výchozí tloušťka polotovaru. Při víceoperačním tažení se velikost tažné mezery postupně snižuje a může dosáhnout až velikosti taženého materiálu či o něco málo menší než  $t_{\max}$ . Je-li zadán požadavek na velmi přesný výtažek (IT7 až IT11) s drsností povrchu  $R_a = 3,2$  až  $0,8$ , musí se volit velikost tažné mezery v intervalu mezi jmenovitou tloušťkou taženého materiálu a minimální tloušťkou.

Základní rovnice pro stanovení tažné mezery jsou následující: pro všechny mezitahy včetně prvního 25, pro poslední tah bez kalibrovacího tahu 26 a pro kalibrovací operaci 27.

$$m_t = K_1 \cdot t + t_{\max} \text{ [mm]} \quad (25)$$

$$m_t = K_2 \cdot t + t \text{ [mm]} \quad (26)$$

$$m_t = K_3 \cdot t + t_{\min} \text{ [mm]} \quad (27)$$

kde:  $K_1, K_2, K_3$  - jsou koeficienty podle tabulky 3. Menší hodnoty v tabulce se doporučují volit pro menší počet tahů a pro výtažky s větší přesností.

Tab. 3 Koeficienty K ke stanovení tažné mezery [11]

| Tažná operace                  | Koeficient | Tloušťka materiálu [mm] |              |              |              |
|--------------------------------|------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                |            | do 0,8                  | 0,8 až 2,0   | 2,0 až 4,0   | nad 4,0      |
| První tah                      | $K_1$      | 0,40 až 0,30            | 0,30 až 0,20 | 0,20 až 0,15 | 0,15 až 0,10 |
| Druhý a další tahy             | $K_2$      | 0,30 až 0,20            | 0,20 až 0,15 | 0,20 až 0,10 | 0,10 až 0,05 |
| Kalibrování bez ztenčení stěny | $K_3$      | 0,30 až 0,20            | 0,20 až 0,10 | 0,10 až 0,05 | 0,05 až 0,00 |

**TAŽNÁ RYCHLOST** – při běžném tažení nemá rychlost průběhu tažné operace přestoupit určitou hranici, aby nenastalo porušení výtažku, i když za určitých okolností, například při tažení explozí, je dosahováno překvapujících výsledků tažením velkými rychlostmi.

Hodnoty tažných rychlostí pro tažení v klasických tažidlech jsou uvedeny v tabulce 4. Například mosaz lze táhnout až desetkrát rychleji než korozivzdornou austenitickou ocel.

Tab. 4. Doporučené rychlosti tažení kovů [11]

| Tažený materiál                 | Tažná rychlost<br>[m·min <sup>-1</sup> ] |
|---------------------------------|--|
| austenitická korozivzdorná ocel | 7  |
| nelegovaná ocel                 | 17                                       |
| hliník a jeho slitiny           | 25                                       |
| měď a její slitiny              | 66                                       |

Při tažení je tažná rychlost u výstředníkových lisů největší v okamžiku dosednutí tažníku na materiál, nejmenší je v okamžiku ukončení samotného tažení. Pro výpočet se uvažuje obvykle nejvyšší rychlost tažení, tedy rychlost v okamžiku dosednutí na materiál, která se vypočítá:

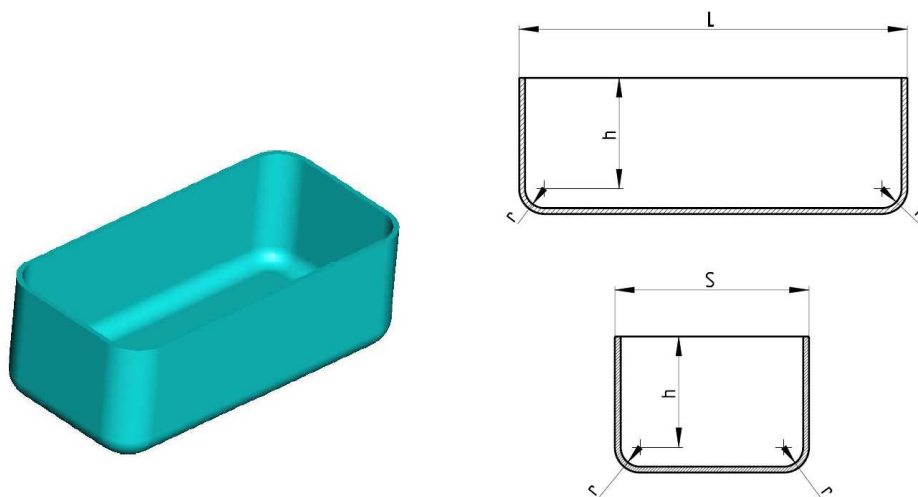
$$v \cong 0,0063 \cdot n \cdot \sqrt{z \cdot p - p^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (28)$$

kde:  $v$  - tažná rychlost [m·min<sup>-1</sup>]  
 $n$  - počet otáček lisu [min<sup>-1</sup>]  
 $z$  - celkový zdvih beranu lisu [mm]  
 $p$  - pracovní pohyb tažníku (od okamžiku dosednutí na materiál až po dosažení spodní krajní polohy) [mm].

Tento vzorec je pouze přibližný, protože neuvažujeme délku ojnice, ale pro praxi postačuje.

### 2.1.2 Tažení výtažků nerotačních tvarů

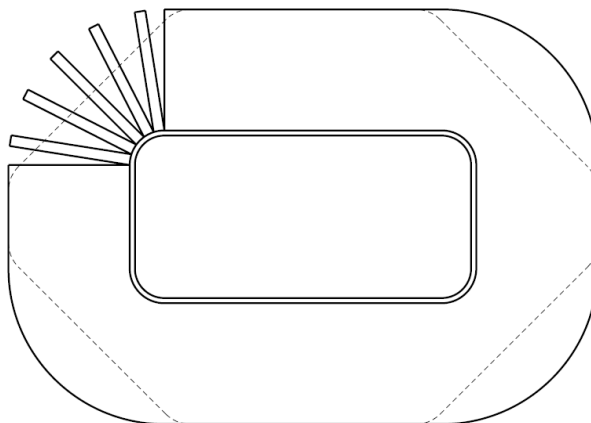
Podle [1], [11], při tažení výtažků nerotačních tvarů, například výtažků čtvercového, nebo obdélníkového či nepravidelného tvaru, dochází k mnoha problémům, které se při tažení rotačních tvarů nevyskytují. Například výtažek na obrázku 2.1.8 je skutečně tažen pouze v rozích, kdežto jeho strany jsou vytvořeny pouhým ohybem. Proto kov při tažení není deformován rovnoměrně podél celého obvodu (jako u výtažků rotačních tvarů), a i zpevnění materiálu tvářením za studena je nerovnoměrné. Největší zpevnění je v rozích výtažku, kde je materiál skutečně tažen, směrem k rovným stěnám se zpevnění postupně snižuje a v určité vzdálenosti od taženého rohu má hodnotu danou pouhou ohybovou deformací.



Obr. 2.1.8 Výtažek s taženými rohy a ohýbanými stěnami

Pro tuto kombinaci tažení, ohýbání a stranového toku materiálu jsou na konstrukci a provedení tažidel kladeny zvýšené požadavky. Jedním z mnoha problémů je i nalezení správného tvaru přístřihu, aby nevznikalo zbytečné plýtvání materiálem a současně nebyl kov při tažení nadměrně namáhán, popř. aby se nezvyšoval počet potřebných tažných operací. Správným tvarem přístřihu se často odstraní i dodatečné ostříhovací operace.

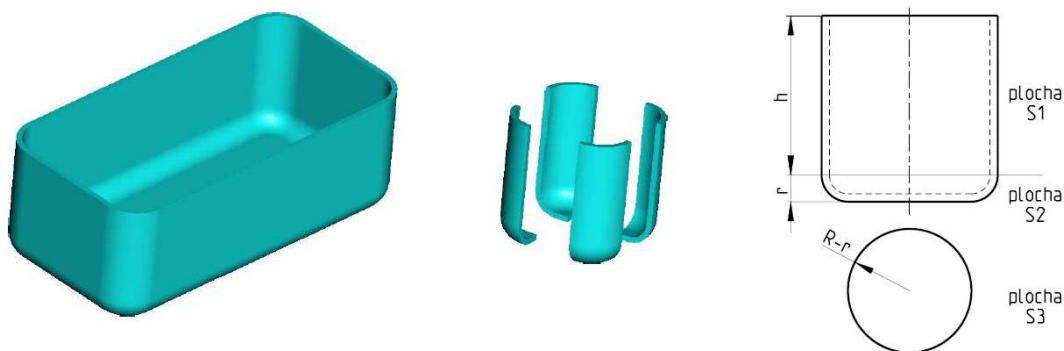
Problém nalezení správného tvaru přístřihu u tažení nerotačních výtažků objasňuje obrázek 2.1.9, který znázorňuje teoretický rozvinutý tvar výtažku z obrázku 2.1.8. Pokud by tento rozvin byl tvarem přístřihu pro tažení, výsledek by tvarově odpovídal výtažku na obrázku 2.1.8, ale proužky materiálu v rozích by zůstaly nespojeny. Z toho vyplývá, že o objem chybějícího materiálu mezi proužky v rozích přístřihu musí být snížen objem kruhové výseče v rohu přístřihu tak, aby byl přebytečný materiál schopen přemístit se tažením.



Obr. 2.1.9 Teoretický tvar výchozího polotovaru nutného pro zhotovení výtažku pouhým ohýbáním

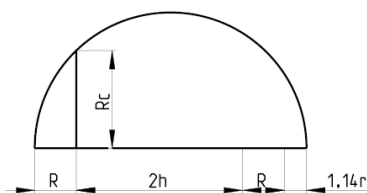
Předpokládá-li se zachování stejné tloušťky materiálu, musí přemísťovaný kov způsobit změnu výšky výtažku, podobně jako při tažení výtažků rotačního tvaru. Tato změna však není rovnoměrná po celém obvodu výtažku. Obrázek 2.1.9 také znázorňuje přibližný výchozí tvar polotovaru čárkovaně, jako výsledek odebrání právě té plochy z rohu polotovaru, která odpovídá ploše kruhových výsečí mezi proužky.

Hledání tvaru polotovaru se někdy provádí i zkusmo, ale tento způsob je často nákladný a zdlouhavý. Proto je vhodné určit tvar graficky, nebo početně tak, aby přemísťovaný kov právě stačil k vyplnění rohů výtažku do roviny s postranními stěnami, které jsou pouze ohnuty, a současně byl brán v úvahu částečný únik materiálu z rohů do stěn výtažku.

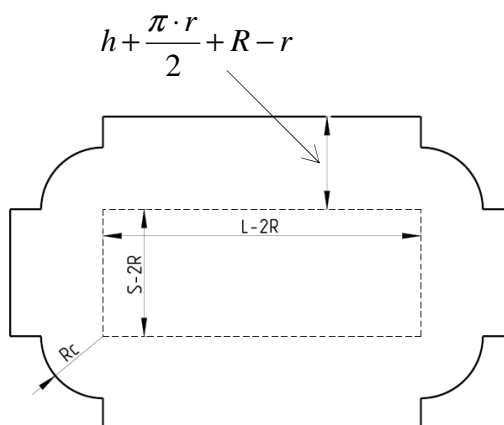


Obr. 2.1.10 Válcovitý tvar výtažku, jehož teoretický tvar vznikne odříznutím rohů obdélníkového výtažku a jejich spojením

Podle obrázku 2.1.10 se tedy musí najít rozvinutý tvar přístřihu pomocí rozvinutých ploch, které se pouze ohýbají a mezi ně, do rohů, se umístí vždy 1/4 kruhového přístřihu, který se vypočte podle vzorce 13 pro válcový výtažek, který vznikl vyjmutím rohů nerotačního výtažku. Poloměr kruhového přístřihu je v následujících obrázcích 2.1.11 a 2.1.12 označen  $R_c$ . Označení rozměrů vychází z obrázku 2.1.8.



Obr. 2.1.11 Grafické určení poloměru  $R_c$



Obr. 2.1.12 Teoretický tvar přístřihu s postačujícím množstvím materiálu pro tažení obdélníkového výtažku

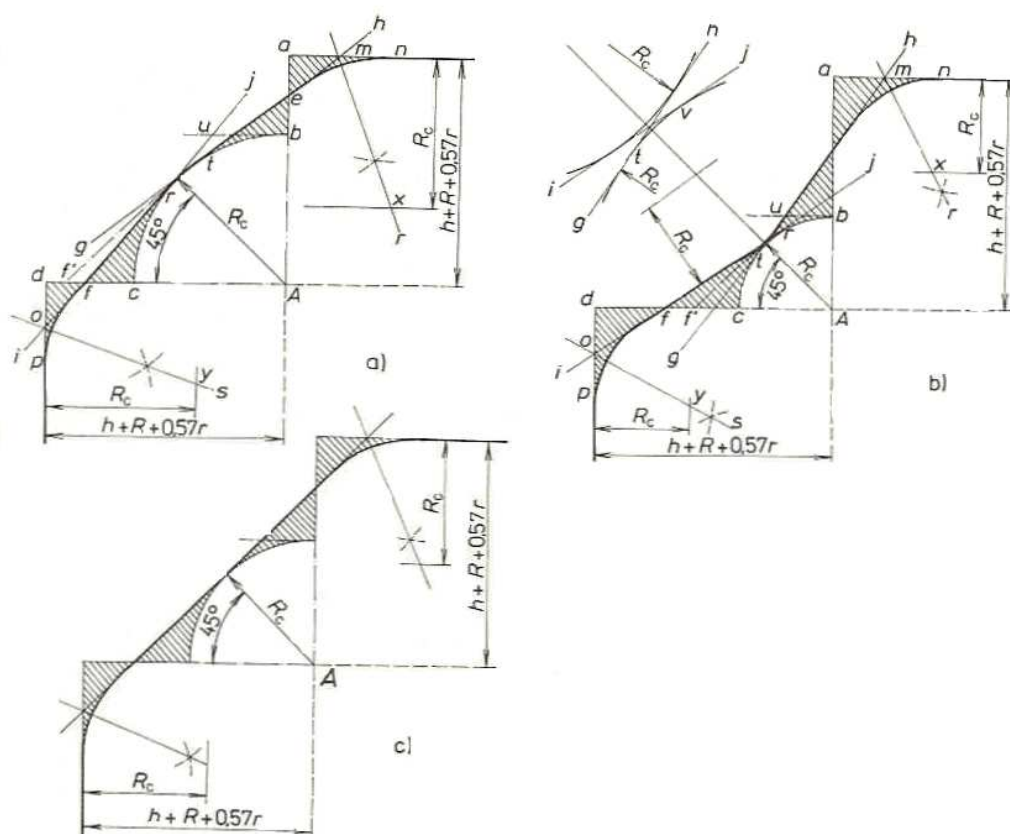
Vzorec 13 pro výpočet průměru přístřihu pro rotační výtažek lze upravit pro výpočet poloměru přístřihu označený  $R_c$ . Vzorec po odvození vypadá takto:

$$R_c = \sqrt{2R \cdot h + R^2 - 1,14R \cdot r} \quad [\text{mm}] \quad (29)$$

- kde:  $R_c$  - poloměr přístřihu rotačního výtažku [mm]  
 $R$  - poloměr zaoblení stěn obdélníkového výtažku z obrázku 2.1.10 [mm]  
 $h$  - výška rovné stěny obdélníkového výtažku z obrázku 2.1.10 [mm]  
 $r$  - zaoblení rohu u dna výtažku [mm]



Je-li odvozený poloměr  $R_c$  znám, může se přistoupit k vlastní konstrukci výchozího tvaru polotovaru (přístřihu). Nejprve se zakreslí obdélník vyznačen na obrázku 2.1.12 čárkovaně a znázorňující plochou část dna z výtažku na obrázku 2.1.10. Prodloužení jeho stran o hodnotu  $h + \frac{\pi \cdot r}{2} + R - r$  se získá tvar přístřihu pro obdélníkový výtažek bez rohových částí, tedy pro tu část výtažku, která je tvořena ohýbáním. Do vzniklých rohů se nanese poloměr  $R_c$  dle obrázku 2.1.12. Aby byl dokončen tvar teoretického přístřihu, musí se přechody mezi obdélníkovými tvary a poloměrem  $R_c$  zaoblit poloměrem  $R_c$  podle obrázku 2.1.13. Přitom mohou vzniknout tři základní druhy zaoblení rohů podle vzájemného poměru hodnot  $R$ ,  $h$  a  $r$ . Tato grafická metoda určí poměrně přesně tvar přístřihu.



Obr. 2.1.13 Konstrukce tvaru rohu přístřihu u nerotačních výtažků  
a) tvar vypouklý; b) tvar vydutý; c) tvar rovný

Při tažení výtažků nerotačních tvarů je komplikovanější určení i některých vlastností tažné operace z těch, které byly uvedeny v kapitole 2.1.1:

**URČENÍ POČTU TAŽNÝCH OPERACÍ** – při tažení nerotačních výtažků se obtížně určuje správný počet tažných operací, protože ho ovlivňuje množství veličin, hlavní jsou tyto:

- velikost zaoblení v rozích  $R$ ;
- velikost výtažku;
- tloušťka taženého kovu;
- druh taženého materiálu;
- poměr mezi velikostí zaoblení v rozích a délkou části stěny výtažku;
- velikost zaoblení dna výtažku;
- šířka příruby výtažku, pokud je vyžadována;

- tvar přístřihu;
- konstrukce a provedení tažidla;
- tažná rychlost;
- mazání a upnutí lisovadla na lise.

Největší vliv na počet tahů má velikost zaoblení v rozích  $r$ . Na tom je přímo závislá výška výtažku  $h$ , kterou lze v prvním tahu dosáhnout. Roh čtvercovitého nebo obdélníkového výtažku je jedinou jeho částí, která se skutečně táhne. U válcovitého výtažku vzniklého z rohů čtvercovitého výtažku by se dalo počítat s redukcí podobně jako u tažení válcového výtažku. Dosažitelná redukce je ovšem u výtažku nerotačních tvarů dalece větší, protože materiál z tažených míst může unikát i do částí výtažku, které se pouze ohýbají. Maximální výška výtažku dosažitelná u tváření nerotačních výtažků v prvním tahu je závislá na velikosti zaoblení v rozích  $R$  - viz tab. 5.

Tab. 5. Závislost maximální výšky nerotačních výtažků dosažitelné v prvním tahu na velikosti zaoblení výtažku v rozích (při zanedbání vlivu ostatních činitelů) [1]

| Velikost zaoblení<br>$R$ [mm] | Maximální výška výtažku<br>[mm] |
|-------------------------------|---------------------------------|
| do 5                          | 8R                              |
| přes 5 do 10                  | 7R                              |
| přes 10 do 13                 | 6R                              |
| přes 13 do 19                 | 5R                              |
| přes 19                       | 4R                              |

V tabulce uvedené hodnoty jsou maximální a dosažitelné při tažení jen zvláště hlubokotažných materiálů. U běžných materiálů se dosažitelné hodnoty sníží o  $1R$ . Těchto vlastností se dá dosáhnout pouze při použití přidržovače. Bez přidržovače je maximální dosažitelná výška tažení podstatně nižší a určuje se empiricky pomocí diagramu.

Tam, kde nelze výtažek dokončit jednou tažnou operací, volí se redukce (rohových zaoblení výtažku) v jednotlivých tazích přibližně stejná, nebo mírně klesající.

**TAŽNÁ VŮLE** – tažná vůle se rovná tloušťce taženého materiálu. U tažidel pro první tahy je poněkud větší, asi 1,1násobek tloušťky materiálu. Je-li zvětšena tažná vůle v rozích, je umožněno přirozené zvětšení tloušťky materiálu při tažení. Sníží se jednak stupeň zpevnění, jednak velikost tažné síly. Výtažek je také v rozích pevnější, jelikož se méně zeslabí. Větší tažná vůle se také používá u posledního tažidla při větším počtu tažných operací, jelikož při každé redukci se tloušťka kovu v rozích poněkud zvětší.

**VELIKOST TAŽNÉ SÍLY** – maximální velikost tažné síly, při které se již vytrhává dno výtažku, se vypočte stejně jako u tahů rotačních součinem obvodu, tloušťky a pevnosti taženého materiálu v tahu. Porovnáním se skutečnou velikostí tažné síly je pak zvážena možnost tažení. Při výpočtu velikosti tažné síly výtažku čtvercového, nebo obdélníkového tvaru se musí rozlišovat síla potřebná k tváření přímé části stěny výtažku, která se pouze ohýbá a sílu nutnou k tváření rohové části, kde nastává vlastní tažení.

Pro čtyři rohy je velikost tažné síly:

$$F_1 = 2\pi \cdot R \cdot t \cdot R_m \cdot C_1 \text{ [N]} \quad (30)$$

kde:  $F_1$  - maximální tažná pro tažení čtyř rohů výtažku [N]  
 $R$  - poloměr zaoblení stěn nerotačního výtažku [m]  
 $C_1$  - konstanta [-]

Pro přímé části stěn výtažku:

$$F_2 = L \cdot t \cdot R_m \cdot C_2 \text{ [N]} \quad (31)$$

kde:  $F_2$  - maximální tažná pro tažení přímých částí stěn výtažku [N]  
 $L$  - součet délek přímých částí stěn výtažku [m]  
 $C_2$  - konstanta [-]

Velikost konstanty  $C_1$  pro velmi mělké výtažky je  $C_1=0,5$ ; se zvětšující se hloubkou výtažku stoupá ( $C_1=2$  pro výtažky výšky 4 až 6násobku velikosti zaoblení  $R$ ).

Konstanta  $C_2=0,2$  je pro správný tvar tažné hrany, dostatečnou vůlí mezi tažníkem a tažnicí a nulový přidržovací tlak; nebo  $C_2=0,3$  pro stejné podmínky a normální tlak přidržovače. Síla, kterou je tažený materiál při tomto tlaku přidržován, je přibližně rovna  $1,3F$  [N].

### 2.1.3 Mazání při tažení

Podle [1], [9] vnější tření a mazání při tažení mají velký vliv na průběh i ekonomii technologického procesu tažení. Vliv mazání má tím větší význam při tažení, čím větší je poměr plochy povrchu styku tvářeného polotovaru s nástrojem k ploše tvářeného polotovaru.

Tažení bez mazání, nebo málo účinné mazání může vyvolat zvětšování potřebných sil při tažení o 40 až 45 %. Při výběru maziva se předpokládá, že na rychlost při tažení nemá vliv působení maziva a změny dosažených výsledků se zpravidla vysvětlují změnou plastických vlastností taženého kovu.

Správně zvolené mazivo pro tažení především zmenšuje koeficient tření mezi tvářeným materiálem a pracovními částmi tažidel; chrání zpracováváný materiál před vznikem povrchových vad a nástroj proti opotřebení. Kromě toho dovolují maziva použít větší koeficient při tažení a snižují síly i napětí při tažení. Koeficient tření vychází z kontaktu kovových částí tažidla se zpracováváním materiálem za přítomnosti tenké vrstvy maziva mezi nimi. Respektive uvažujeme koeficient tření mezi kovovou částí tažidla a tenkým filmem maziva, který je závislý na mnoha vlastnostech maziva. Kontakt tažidla se zpracováváním materiálem ovšem není výhradně přes tenký film maziva, ale v některých výčnělcích povrchu dochází ke kovovému spojení tvořením kovových můstků. Třecí odpor potom tvoří stříhová síla potřebná na usmyknutí těchto můstků a síla potřebná na usmyknutí mazacího filmu.

Základní požadavky na maziva pro hluboké tažení jsou:

- a) schopnost vytvořit pevný souvislý film
- b) mazací schopnost
- c) schopnost udržení na mazacích plochách

- d) chemická stálost
- e) tepelná stálost
- f) tepelná odolnost
- g) chemická netečnost
- h) snadné nanesení a odstranění na výchozí materiál
- i) hygienická nezávadnost
- j) ekonomická výhodnost

Stručně k jednotlivým vlastnostem:

**ad a:** *schopnost utvořit pevný souvislý film* patří k nejdůležitějším ukazatelům maziv. Nedostatečně přilnavá vrstva je při vysokých tlacích vytlačena z třecích ploch. Schopnost mazacího filmu vzdorovat tlakovému zatížení je dána přilnavostí mezi molekulami maziva tvořícího mazací film.

**ad b:** *mazací schopnost* je vlastnost, která se projevuje přilnutím maziva k mazanému povrchu a vytvořením souvislé mazací vrstvy s dostatečnou přilnavostí a s malým vnitřním třením. Mazací schopnost je charakterizována především mazivostí a viskozitou. *Mazivost* je vlastnost, podle níž posuzujeme pevnost mezní vrstvy maziv a je charakterizována mazacími vlastnostmi v podmínkách mezního tření na rozdíl od podmínek hydraulického tření, při kterém je charakteristickým ukazatelem vlastnosti vrstvy viskozita. *Viskozita* je míra vnitřního tření, to je hodnota vyjadřující odpor proti vzájemnému posunutí molekul maziva.

**ad c:** *schopnost udržení maziv na třecích plochách* je závislá na přilnavosti maziv na povrchu třecích ploch.

**ad d:** *chemická stálost* je odolnost maziva proti stárnutí. Mazivo si má ponechat své vlastnosti. Působením vzduchu, světla i tepla se chemické látky v mazivu mění, tvoří se v mazivu látky, které se oddělují a z maziva vylučují.

**ad e:** *tepelná stálost* je schopnost maziva udržet si mezní vlastnosti při různých teplotách.

**ad f:** *tepelná odolnost* je odolnost mazací vrstvy proti jejímu porušení vlivem teploty. Dobrou tepelnou odolnost vykazuje například grafit.

**ad g:** *chemická netečnost* k tvářenému materiálu a nástroji je jedním ze základních kritérií maziv. Často se stává, že použitá maziva (především emulze) vyvolávají korozi kovů.

**ad h:** *snadné nanesení* maziva na výchozí materiál i jeho *snadné odstranění* z výtažků je dalším důležitým kritériem k posuzování maziva. Snadné nanesení maziva závisí zejména na jeho viskozitě.

**ad i:** *hygienická nezávadnost* maziva je důležitým činitelem, protože maziva nesmějí škodlivě ovlivňovat pracovní podmínky lisařů.

**ad j:** ekonomičnost maziva je dána rentabilitou jeho použití. Je třeba uvážit, zda výhody a technologické výsledky maziva plně vyváží náklady na jeho použití.

### **Maziva:**

Pro tažení kovu je vyvinuto množství maziv určené samostatně pro každý jednotlivý technologický postup. Aby svoji funkci plnilo dokonale, je nutno při jejich výběru postupovat stejně pečlivě jako při výběru materiálu nástroje včetně jeho tepelného zpracování. Z tohoto

důvodu je nutné dokonalé seznámení s vlastnostmi maziv i s podmínkami, za kterých budou pracovat.

Maziva se dají rozdělit na kapalná, konzistenční i tuhá. Mezi maziva kapalná se řadí oleje minerální, organické a zušlechtěné vyrobené synteticky. Pro tažení kovu nejsou příliš vhodné minerální oleje, naopak organické mají výborné mazné schopnosti, ale jsou příliš drahé. Nejpoužívanější jsou tedy oleje syntetické. Olejů rozpustných ve vodě se využívá k výrobě olejových emulzí.

Oleje jsou využívány pro méně náročné tahy. Snadno se nanášejí stříkací pistolí nebo štětcem. Mezi nevýhody patří nutnost odmašťování.

Olejové emulze jsou tvořeny olejem a emulgátorem a jejich výhodou je, že mají chladicí účinek a jejich odstranění z výtazku není tak obtížné.

Mýdlové emulze jsou především roztoky draselných a sodných mýdel. Emulze se nanášejí na polotovar máčením. Mezi velké výhody patří velký chladicí účinek a snadné odstraňování z výtisku.

Tukové emulze jsou roztoky tuku rozpustných ve vodě. Obsahují malé množství minerálních olejů a zvýšené množství emulgátoru, tuku a volných mastných kyselin. Využití mají hlavně u nenáročných tahů.

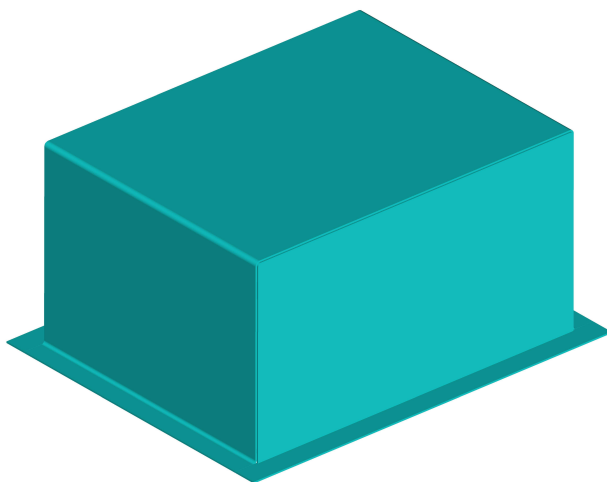
Konzistenční maziva jsou v podstatě mazací tuky. Základní dělení maziv je na rostlinná a živočišná; vyráběná z olejů a mýdel; na rozpustné ve vodě a nerozpustné a ve formě past. Jako nositel mazacích vlastností je zde olej a mastná přísada, která je svojí přilnavostí velice žádoucí právě v podmínkách, ve kterých pracuje (oblast mezního tření). Používají se pro barevné kovy a nenáročné tahy.

Tuhá maziva mají nepatrnou tvrdost, malou smykovou pevnost a velkou přilnavost ke kovům. Používají se spíše jako přísady k běžným mazivům pro hluboké tažení složitých výtazků. Mezi nejznámější patří grafit a mastek.

### 3. VÝROBA UNIFIKOVANÉHO KRYTU ŘEMENOVÉHO PŘEVODU

V oblasti mého pracovního působení často navrhuji různé vrátky a navijáky pro potahování lodí těžebních bagrů, vykotvovací vrátky, popřípadě také pohony pojezdů kočky drapákového bagru a jiné pohony. Elektronické řízení rozběhu (např. frekvenčním měničem) je u těchto pohonů nerentabilní, a proto pro pohlčení nejtvrdšího rázu při spuštění se nejčastěji používá jednoduchý řemenový převod s klínovými řemeny. Takový převod je nutné, nejen dle požadavků Státní báňské správy České republiky (dle zákona ČNR č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě [13], [15] a dle prováděcího předpisu - vyhlášky ČBÚ č. 26/1989 Sb., o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem na povrchu [16]), ale i podle obecných požadavků na bezpečnost při konstruování těžebních strojů dle normy ČSN 27 7015 - Stroje pro povrchové dobývání - Technické požadavky [17] - opatřit odpovídajícím krytem.

Navrhovaný kryt řemenového převodu se mi podařilo do jisté míry unifikovat pro větší rozměrovou škálu řemenových převodů, používaných v oblasti, kterou jsem popsal výše. Výkres krytu, vyrobený způsobem používaným doposud (svařováním) je obsahem přílohy č. 1 této bakalářské práce. Obrázek 3.1 znázorňuje skicu tohoto krytu řemenového převodu vyrobeného svařováním.



Obr. 3.1 Skica krytu řemenového převodu vyrobená svařováním

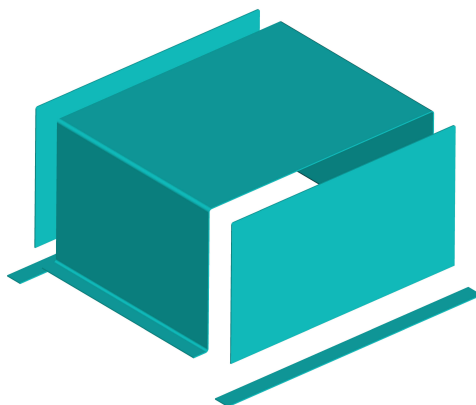
Na tvar krytu řemenového převodu jsou kladeny především dva požadavky; požadavek na vhodnou přírubu pro upevnění k nosné konstrukci a na optimální tvar těla krytu, pro splnění úkolu krytí řemenového převodu k zabránění nebezpečí poranění osob vyskytujících se poblíž strojního zařízení. Proto je možné tvar krytu do jisté míry přizpůsobit preferované technologii výroby.

Vzhledem k potřebě výroby cca 3 000 ks krytů za rok navrhuji porovnat náročnou technologii výroby svařováním s navrhovanou technologií výroby krytu tvářením za studena.

#### 3.1 Výroba krytu řemenového převodu svařováním

Podle přílohy č. 1, výkresu č. PD-22-12-10-01-000, lze popsat výrobu navrhovaného krytu svařováním takto:

Jako výchozí materiál se použijí výpalky z plechu tloušťky 2 mm. Další operace je ohýbání dílů navazujících na potřebnou přírubu pro umístění otvorů k uchycení šroubových spojů a ohnutí hlavního středového dílu na několika místech dle skici na obr. 3.1.1. Ohýbání se provede na ruční ohýbačce, nebo na ohraňovacím lisu. Po složení ohnutých výpalků do konečného tvaru krytu se plechy nastehují a později zavaří přerušovaným koutovým swarem velikosti 1,5 mm. Následuje rovnání (nahřívání některých míst krytu a následné vyrovnaní). Po tryskání a odmaštění překryje několikavrstvý korozivzdorný nátěr místa spojů plechu hranami na koso tam, kde není svar tak, aby krytem neesteticky neprosvítalo světlo.



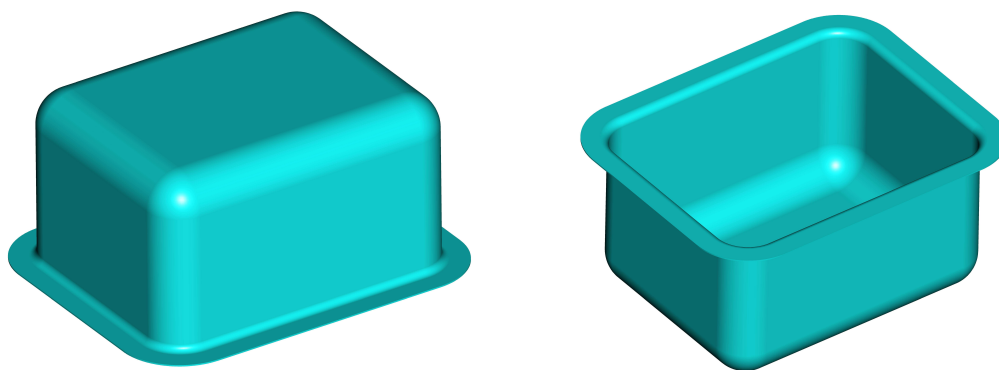
Obr. 3.1.1 Skica krytu řemenového převodu - stav před svařením

Tento současný způsob výroby obsahuje mnoho navazujících operací a je velmi složitý. Z praxe vyplynul velmi nepříznivý poměr ceny výrobku k ceně vstupního materiálu. Proto navrhuji výrobu krytu řemenového převodu tažením.

### 3.2 Výroba krytu řemenového převodu tažením za studena

Vzhledem k tvaru krytu navrhuji výrobu upraveného krytu řemenového převodu tažením tak, aby byly zachovány všechny konstrukční prvky krytu pro splnění požadavků vypsanych v úvodu kapitoly 3. Tyto požadavky především umožňují zaoblení hran a nekladou vysoké nároky na konečné rozměry a geometrii vnějšího tvaru příruby.

Podle obrázku 3.2.1 navrhuji výrobu unifikovaného krytu řemenového převodu tažením (za studena) z plechu tloušťky 2 mm, z materiálu 11 300 (voleno dle [7], [10]).



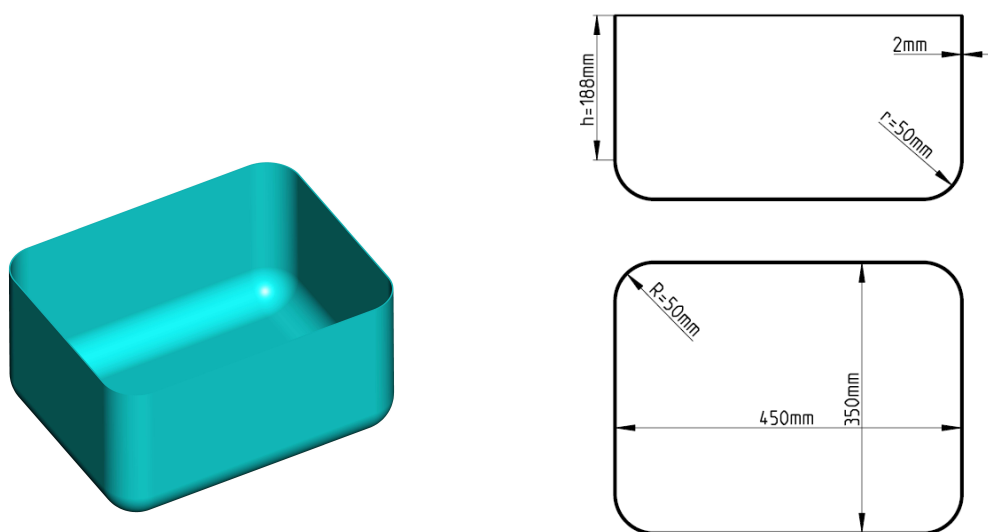
Obr. 3.2.1 Skica krytu řemenového převodu vyrobeného tažením

Přílohy č. 2 a 3 obsahují výkresy navrhovaného tvaru výtažku (č.v.: PD-02-05-11-00-001) a tvaru přístříhu (č.v.: PD-02-05-11-00-002), jehož výrobu lisováním z plechu řeším dodáním z kooperace. Navrhovanou technologii nyní doložím výpočty a odvozením všech potřebných údajů popsanych teoreticky v kapitolách 2.1.1 a 2.1.2.

### 3.2.1 Určení velikosti přístříhu

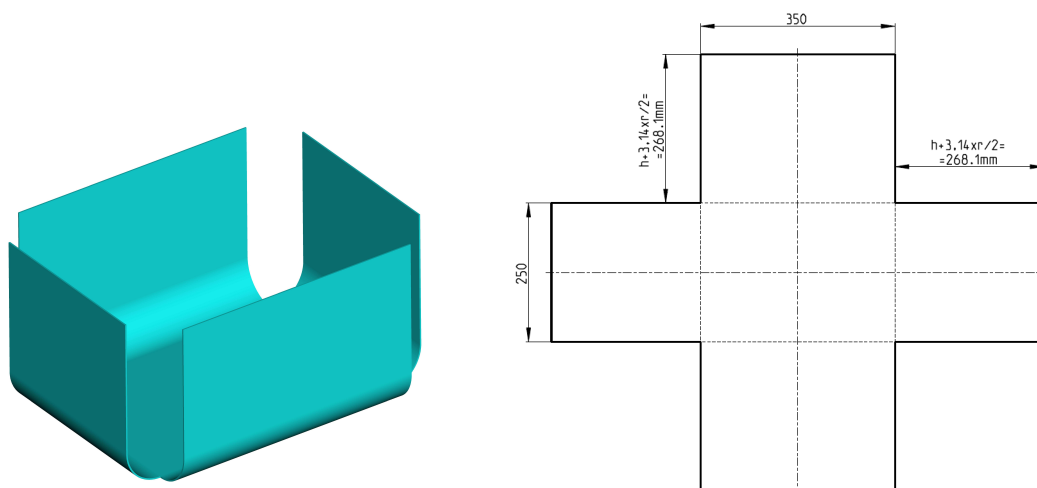
Velikost a tvar přístříhu pro první tah určím následovně:

- a) nejprve najdu tvar přístříhu pro výtažek bez příruby a zaoblení přechodu k přírubě - viz obrázek 3.2.1.1.



Obr. 3.2.1.1 Tvar výtažku bez příruby a jejího zaoblení

U tohoto tvaru rozvinu nejdříve nezaoblené části stěn výtažku:



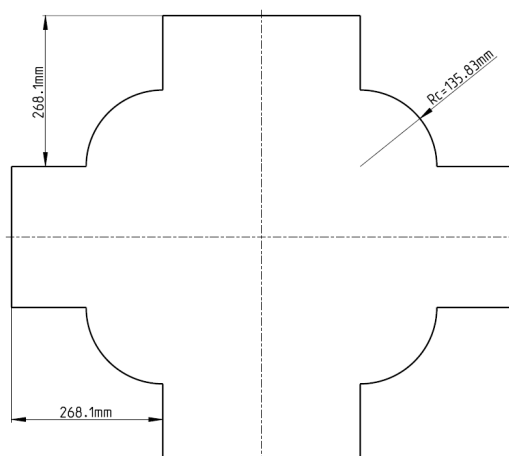
Obr. 3.2.1.2 Rozvin ohnutých částí výtažku

Podle obrázku 2.1.12 a vzorce 29 určím velikost poloměru  $R_c$ :

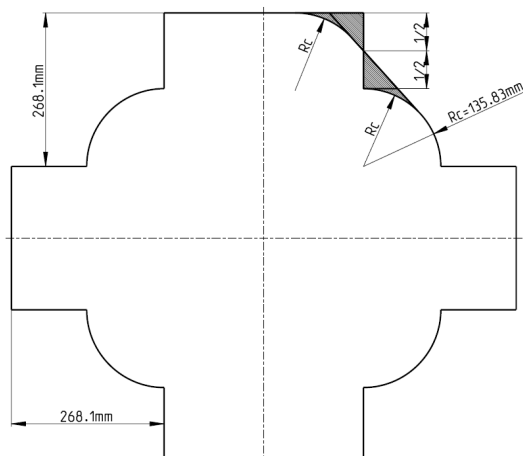
$$R_c = \sqrt{2R \cdot h + R^2 - 1,14R \cdot r} = \sqrt{2 \cdot 50 \cdot 188 + 50^2 - 1,14 \cdot 50 \cdot 50} = 135,83 \text{ mm.}$$



Neupravený tvar přístřihu výtažku bez příruby a jejího zaoblení bude potom vypadat dle obrázku 3.2.1.3:

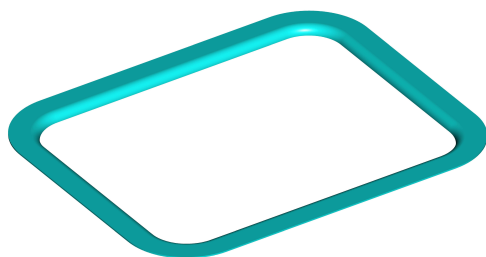


Obr. 3.2.1.3 Neupravený tvar rohu přístřihu

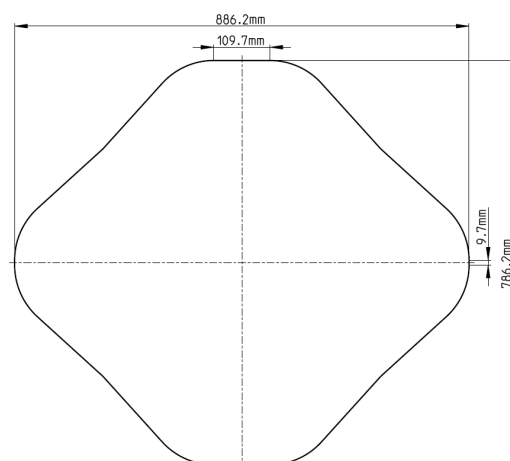


Obr. 3.2.1.4 Úprava tvaru rohu přístřihu

Úpravu rohu přístřihu jsem provedl dle obrázku 2.1.13 a výsledek znázornil na obrázku 3.2.1.4. Výsledný tvar přístřihu výtažku bez příruby a jejího zaoblení znázorňuje obrázek 3.2.1.5.



Obr. 3.2.1.5 Příruba se zaoblením

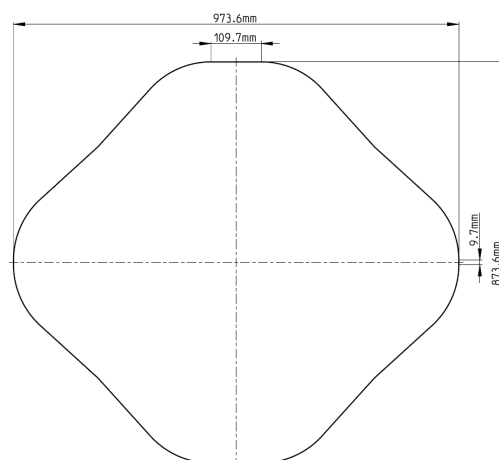


Obr.3.2.1.6 Výsledný tvar přístřihu výtažku bez příruby a jejího zaoblení

K tvaru přístřihu dle obrázku 3.2.1.5 nyní přidám zbytek z celkového tvaru výtažku, přírubu se zaoblením, která je znázorněna na obrázku 3.2.1.6.

S ohledem na nízké požadavky na přesnost tvaru příruby výtažku a také vzhledem k tomu, že se jedná o téměř konstantní přídavek po celém obvodu tvaru přístřihu dle obr. 3.2.1.5, volím tento postup:

Po celém obvodu přístřihu dle obr. 3.2.1.5 přidám lem o šířce odpovídající součtu šířky příruby a rozvinuté šířky jejího zaoblení. Dle výkresu č. PD-02-05-11-00-001 je hodnota šířky přidaného lemu =  $(28 + \pi \cdot 10) : 2 = 43,71$  mm.



Obr. 3.2.1.6 Tvar navrženého přístřihu

Prostřednictvím objemových analýz CAD systému ProEngineer mohu nyní porovnat objem přístřihu s objemem výtažku.

Objem výtažku = 1 118 988,8 mm<sup>3</sup>

Objem navrženého tvaru přístřihu dle obr. 3.2.1.7 =  
= 1 166 707,9 mm<sup>3</sup>

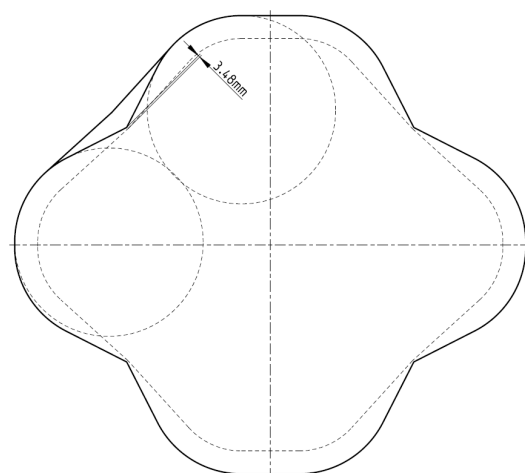
Rozdíl v objemech je příliš velký, proto musím v rozích zaoblení příruby odvodit snížení šířky lemu. Použiji odvození z obsahů ploch v rozích zaoblení příruby, které je součástí analýz CAD systému.

Konečný návrh geometrie je zřejmý z výkresu č. PD-02-05-11-00-002, poslední úprava potom z obrázku 3.2.1.7. Z výkresu č. PD-02-05-11-00-002 také vychází konečné porovnání objemů:

Objem výtažku = 1 118 988,8 mm<sup>3</sup>

Objem tvaru přístřihu dle č. v. PD-02-05-11-00-002 = 1 119 537,9 mm<sup>3</sup>

Na základě tohoto porovnání je již přijatelné konstatovat, že nalezený tvar přístřihu bude teoreticky právě tím tvarem, ze kterého tažením získáme požadovaný výtažek.



Obr. 3.2.1.7 Poslední úprava tvaru požadovaný výtažek přístřihu

### 3.2.2 Určení počtu tažných operací

Podle tabulky 5 nelze výtažek táhnout jednou operací. Proto je nutné zvolit redukce pro jednotlivé tahy a tím určit i počet tahů. Podle kapitoly 2.1.2 volím redukce pro rohové zaoblení výtažku. Používám vzorec 7 pro první tah, kde za D dosazuji 2·R<sub>c</sub> (R<sub>c</sub> = 135,83 mm) a R<sub>1</sub> volím z tabulky 2 – 40 %.

$$R_1 = \frac{D - d_1}{D} \cdot 100 \rightarrow d_1 = D - \left( \frac{R_1}{100} \cdot D \right) = 2 \cdot 135,83 - \left( \frac{40}{100} \cdot 2 \cdot 135,83 \right) = 163,00 \text{ mm}$$

Pomocí vzorce 8 určím redukci druhého tahu, při kterém za d<sub>2</sub> dosazuji již Ø rotačního výtažku složeného z rohů krytu. Za Ø d<sub>2</sub> dosazuji 2·R (R = 51 mm).

$$R_2 = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \cdot 100 = \frac{163 - 2 \cdot 51}{163} \cdot 100 = 37 \%$$

Kryt řemenového převodu se bude táhnout na 2 tahy. Tvar výtažku po prvním tahu uvádím na výkresu č. PD-02-05-11-00-003.

### 3.2.3 Určení tažné síly

Pro účely volby vhodného lisu stanovím maximální a skutečnou tažnou sílu při tažení krytu řemenového převodu. Použiji vzorec 30, 32, 2, 3 a 4.

Do vzorce 30 dosazuji: R = 51 mm = 0,051 m  
t = 2 mm = 0,002 m  
R<sub>m</sub> = 300 MPa = 300 000 Pa  
C<sub>1</sub> = 2

$$F_1 = 2\pi \cdot R \cdot t \cdot R_m \cdot C_1 = 2\pi \cdot 0,051 \cdot 0,002 \cdot 300000 \cdot 2 = 384,5 \text{ N}$$

Do vzorce 31 dosazují:

$$L = 1200 \text{ mm} = 1,2 \text{ m}$$

$$t = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

$$R_m = 300 \text{ MPa} = 300\,000 \text{ Pa}$$

$$C_2 = 0,3$$

$$F_2 = L \cdot t \cdot R_m \cdot C_2 = 1,2 \cdot 0,002 \cdot 300\,000 \cdot 0,3 = 216 \text{ N}$$

Maximální tažná síla je rovna součtu sil  $F_1$  a  $F_2$ .

$$F = F_1 + F_2 = 384,5 + 216 = 600,5 \text{ N}$$

Podle kapitoly 2.1.2 je potřebná síla přidržovače rovna  $1,3F$ , tedy:

$$F_p = 1,3 \cdot 600,5 = 780,65 \text{ N}$$

Podle tabulky 1 musím násobit součet sil  $F$  a  $F_p$  koeficientem  $A = 3$  pro délku výtažku od 200 mm do 250 mm. Skutečná síla lisu je potom:

$$F_l = (F + F_p) \cdot 3 = 4143,45 \text{ N}$$

Síla lisu vzhledem k síle stěny výtažku je požadována celkem malá, ale kvůli rozměrům tvářecích nástrojů pro jednotlivé tahy musím volit karosářský lis ERFURT PKZZ-I-500/2800 s dostatečným zdvihem beranu pro oba nástroje a lisovací silou 4000 N. Výkres sestavy nástroje pro první tah přikládám v příloze č. 5 pod číslem výkresu PZ5392-01-00-000 a výkres jeho tažníku jako příloha č. 6 pod číslem výkresu PZ5392-01-00-008.

### 3.2.4 Určení tažného poloměru

Pro oba tahy počítám tažný poloměr ze vzorce 21 pro tváření rohů výtažku.

1. tah: dosazují za  $D = 271,66 \text{ mm}$ ,  $d_t = 163 \text{ mm}$ ,  $t = 2 \text{ mm}$

$$r_t = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d_t) \cdot t} = 0,8 \cdot \sqrt{(271,66 - 163) \cdot 2} = 11,79 \text{ mm}$$

Na základě výpočtu volím tažný poloměr pro první tah  $r_t = 12 \text{ mm}$ .

2. tah: dosazují za  $D = 163 \text{ mm}$ ,  $d_t = 100 \text{ mm}$ ,  $t = 2 \text{ mm}$

$$r_t = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d_t) \cdot t} = 0,8 \cdot \sqrt{(163 - 100) \cdot 2} = 8,98 \text{ mm}$$

Na základě výpočtu volím tažný poloměr pro druhý tah  $r_t = 10 \text{ mm}$ .

### 3.2.5 Určení tažné vůle

Tažnou vůli pro první tah stanovím dle kapitoly 2.1.2 a 2.1.1 jako 1,2násobek tloušťky materiálu u rovných částí, kde dochází převážně jen k ohybu a 1,3násobek tloušťky materiálu v zaoblených rozích. Pro druhý tah volím 1,1násobek pro rovné části a 1,2násobek pro zaoblené rohy.

Tažná mezera je potom:

$$m_{t1} = 2,4 \text{ mm} \text{ pro první tah pro rovné části}$$

$$m_{t1} = 2,6 \text{ mm} \text{ pro první tah pro zaoblené rohy}$$

$$m_{t2} = 2,2 \text{ mm} \text{ pro první tah pro rovné části}$$

$$m_{t2} = 2,4 \text{ mm} \text{ pro první tah pro zaoblené rohy}$$

### 3.2.6 Určení tažné rychlosti

Tažnou rychlost volím podle tabulky 11,  $v = 17 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

#### 4. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Výsledky z technické specifikace tažného nástroje a vlastností při tažení poukazují na vhodnost technologie tažení pro výrobu krytu řemenového převodu. Navrhované technické řešení předpokládá dostupnost karosářského lisu ERFURT PKZZ-I-500/2800.

Cena krytu vyrobeného svařováním, při výrobě 3 000 ks za rok, byla stanovena na 680 Kč/ks. Nyní uvádím náklady na výrobu krytu řemenového převodu tažením při výrobě 3 000 ks za rok pro srovnání se stávající technologií výroby:

##### **Materiál:**

Materiál je dodán z kooperace již ve tvaru přístřihu pro první tah. Cena výstřižku připraveného pro tažení je 270 Kč/ks.

##### **Výroba nástroje:**

Nástroje pro tažení krytu řemenového převodu (1. a 2. tah) jsou dodány z kooperace a jejich cena je 3 450 000 Kč.

##### **Pronájem karosářského lisu:**

Karosářský lis ERFURT PKZZ-I-500/2800 je možné si pronajmout za hodinovou sazbu 1 780 Kč/h i se zaškolenou obsluhou.

Vzhledem k časům pro výměnu nástrojů, času pro vložení přístřihu, respektive prvního výtažku, do pracovního prostoru nástroje, času jednoho zdvihu lisu a času pro vyjmutí výtažku z pracovního prostoru nástroje, byl při zahrnutí všech nutných pracovních i nepracovních prodlev stanoven čas na výrobu jednoho krytu řemenového převodu tažením na lisu ERFURT PKZZ-I-500/2800 na 2 min a 37 s. Cena za výrobu jednoho kusu krytu řemenového převodu na pronajatém lisu bude tedy 77,63 Kč.

Náklady na převozy jednoho krytu ve všech fázích výrobního postupu byly stanoveny na 3,65 Kč/ks.

##### **Určení nákladů na výrobu jednoho kusu krytu řemenového převodu tažením bez zohlednění výroby nástroje:**

Náklad jsem odvodil z ceny přístřihu, ceny pronájmu lisu a ceny za dopravu mezi operacemi.

$270 + 77,63 + 3,65 = 351,28 \rightarrow$  Náklady na výrobu jednoho kusu jsou tedy cca 352 Kč.

Je nutné ovšem zjistit návratnost ceny nástroje, který má životnost 300 000 ks vzhledem ke stávající technologii výroby. Potom určím bod zvratu, který bude charakterizovat především minimální počet kusů, které musí být vyrobeny, aby byl celý návrh technologie ekonomicky přínosný a dobu, za který tento bod zvratu nastane.

Cena nástrojů rozpuštěná do jednoho kusu výtažku před nutností opravit tažník a tažnici, respektive přidržovač, je 11,5 Kč/ks ( $3\,450\,000 / 300\,000 = 11,5$ ).

Navýšená cena výtažku o rozpuštěnou cenu nástrojů na jeden kus výtažku činí cca 363 Kč, ale nevypovídá plně o úspoře nové technologie výroby oproti stávající.

Cenu nástroje rozdělím do rozdílu ceny jednoho kusu krytu řemenového převodu vyrobený svařováním a tažením bez započtené ceny za výrobu nástroje. Získám tak počet kusů, za který se mi, vztaženo k ceně stávající technologie výroby, vrátí vynaložené prostředky na výrobu nástroje. Tedy  $\frac{3450000}{680 - 352} \approx 10520$  ks.

To znamená, že při výrobě 3 000 ks za rok budu cca 3,5 roku z úpor na výrobu jednoho kusu hradit náklady na výrobu nástrojů a dalších 96,5 roku budu vyrábět kryt řemenového převodu s úsporou 328 Kč/ks.

## 5. ZÁVĚR

Posláním této práce je navrhnout ekonomicky výhodnější výrobní technologii pro výrobu krytu řemenového převodu.

Navržená technologie výroby je tažení plechu za studena. Materiál byl zvolen 11 300. Tvar přístřihu byl určen dvěma způsoby. Nejprve podle vzorce část výtažku bez příruby a jejího zaoblení a poté pomocí objemových interpolací provedených v CAD systému ProEngineer. Tvar přístřihu bude vystřižen z tabule plechu podle technologie stanovené kooperační výrobnou.

Výroba krytu byla rozdělena do dvou tažných operací. Nejprve tah do hloubky 150 mm o rozměrech obdélníkového výtažku 500 x 413 mm a druhý tah přetáhne vytažený polotovár do tvaru stanoveného výkresem.

Tažení je nutno provádět s přidržovačem, což vyplývá z toho, že požadujeme ponechat na výtažku přírubu, která ovšem nemusí být následně ostřížena, protože není kladen požadavek na přesný vnější tvar příruby.

K tažení součásti byl navržen Karosářský lis ERFURT PKZZ-I-500/2800 s přihlédnutím k jeho jmenovité tvářecí síle, zdvihu beranu a prostoru pro upnutí.

Technicko ekonomické zhodnocení potvrdilo správnost volby výrobní technologie pro výrobu krytu řemenového převodu z dlouhodobého hlediska. V případě ukončení výroby krytu během 3,5 roku a méně se změna technologie výroby nevyplatí.

## 6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971. 544 s. L 13-E1-IV-41/22221/X.
- [2] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
- [3] DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ* [online]. 2006 [cit. 2011-04-22]. Technologie tváření. Dostupné z WWW: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_tvareni/](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/)>.
- [4] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření – plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
- [5] FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
- [6] KREIBICH, Viktor, et al. *Strojírenská technologie IV*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988. 328 s. L13-C2-V-31f/25980.
- [7] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 4. vyd. Úvaly: Albra, 2008. 914 s. ISBN 80-7361-051-7.
- [8] NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.
- [9] PETRUŽELKA, Jiří. *Analýza hlubokého tažení* [online]. 2009 [cit. 2011-04-22]. Teorie tváření. Dostupné z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/TTV/53AnHITah.pdf>>.
- [10] PTÁČEK, Luděk, et al. *Nauka o materiálu I*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 516 s. ISBN 80-7204-283-1.
- [11] TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
- [12] *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. 2009 [cit. 2011-04-22]. Technická univerzita Liberec, katedra strojní technologie. Dostupné z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm)>.
- [13] *Státní báňská správa* [online]. 2011 [cit. 2011-04-22]. Státní báňská správa ČR: Právní předpisy - Přehled platných. Dostupné z WWW: <<http://www.cb.usbs.cz/prehled-platnych.aspx>>.
- [14] *Strojní liceum* [online]. 2008 [cit. 2011-04-22]. Tváření za studena - lisování. Dostupné z WWW: <<http://www.strojnilyceum.wz.cz/maturita/tep/tep13r.pdf>>.
- [15] Česko. Zákon České národní rady ze dne 21. dubna 1988 o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě. In *Sbírka zákonů č. 61 1988*. 1988, částka 10, s. 233-246. Dostupný také z WWW: <<http://www.soptik-pyro.cz/dokumenty/legislativa/61-1988.pdf>>.

- [16] Česko. Vyhláška Českého báňského úřadu ze dne 29. prosince 1988 o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem na povrchu. In *Sbírka zákonů č. 26 1989*. 1988, částka 8, s. 237-277. Dostupný také z WWW: <<http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/legislativa/026-1989.pdf>>.
- [17] *Stroje pro povrchové dobývání - Technické požadavky*. [s.l.] : Český normalizační institut, Leden 2007. 29 s.



## 7. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| Symbol   | Jednotka           | Název  |
|--|--------------------|--|
| A  | [-]                | součinitel délky výtažku   |
| B  | [-]                | součinitel pro výpočet přidržovací síly                                      |
| c  | [-]                | konstanta závislá na druhu taženého materiálu                                |
| C <sub>1</sub>                                   | [-]                | konstanta  |
| C <sub>2</sub>                                   | [-]                | konstanta  |
| d  | [mm]               | střední Ø výtažku  |
| D  | [mm]               | Ø přístřihu  |
| d <sub>1</sub>                                   | [mm]               | střední Ø prvního tahu   |
| d <sub>2</sub>                                   | [mm]               | střední Ø druhého tahu   |
| d <sub>t</sub>                                   | [mm]               | Ø tažníku  |
| F  | [N]                | maximální tažná síla   |
| F <sub>2</sub>                                   | [N]                | maximální tažná síla pro tažení přímých stěn výtažku                         |
| F <sub>1</sub>                                   | [N]                | potřebná síla lisu   |
| F <sub>p</sub>                                   | [N]                | přidržovací síla   |
| F <sub>t</sub>                                   | [N]                | skutečná tažná síla  |
| h  | [mm]               | výška výtažku  |
| K <sub>1</sub> , K <sub>2</sub> , K <sub>3</sub> | [-]                | koeficient, ke stanovení tažné mezery  |
| L  | [mm]               | jednotlivé délky křivek  |
| L <sub>x</sub>                                   | [mm <sup>2</sup> ] | součet součinu dílčích délek l a vzdáleností těžišť těchto délek od tělesa x |
| m  | [-]                | součinitel při tažení  |
| m <sub>1</sub>                                   | [-]                | součinitel při tažení pro první tah  |
| m <sub>2</sub>                                   | [-]                | součinitel při tažení pro druhý tah  |
| m <sub>t</sub>                                   | [mm]               | tažná mezera   |
| n  | [min-1]            | počet otáček lisu  |
| p  | [mm]               | pracovní pohyb tažníku   |
| r  | [mm]               | zaoblení rohu u dna výtažku  |
| R  | [m], [mm]          | poloměr zaoblení stěn obdélníkového výtažku                                  |
| R <sub>1</sub>                                   | [-]                | redukce původního Ø přístřihu, v %   |
| R <sub>2</sub>                                   | [-]                | redukce Ø prvního tahu, v %  |
| R <sub>c</sub>                                   | [mm]               | poloměr přístřihu rotačního výtažku  |
| R <sub>m</sub>                                   | [Pa]               | pevnost taženého materiálu v tahu  |
| R <sub>max</sub>                                 | [-]                | maximální redukce při tažení bez přidržovače, v %                            |
| r <sub>t</sub>                                   | [mm]               | tažný poloměr  |
| S  | [mm <sup>2</sup> ] | povrch rotačního tělesa  |
| t  | [m], [mm]          | tloušťka taženého materiálu  |

|                |                        |                                  |
|----------------|------------------------|----------------------------------|
| V              | [mm <sup>3</sup> ]     | objem                            |
| v              | [m·min <sup>-1</sup> ] | tažná rychlost                   |
| v <sub>t</sub> | [mm]                   | tažná vůle                       |
| x              | [mm]                   | vzdálenost těžiště od osy tělesa |
| z              | [mm]                   | celkový zdvih beranu             |

## **8. SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha č.1: výkres č. PD-22-12-10-01-000, KRYT SVAŘOVANÝ
- Příloha č.2: výkres č. PD-02-05-11-00-001, KRYT TAŽENÝ
- Příloha č.3: výkres č. PD-02-05-11-00-002, PŘÍSTŘIH-VÝLISEK
- Příloha č.4: výkres č. PD-02-05-11-00-003, KRYT TAŽENÝ - PRVNÍ TAH
- Příloha č.5: výkres č. PZ5392-01-00-000, TAŽIDLO-PRVNÍ TAH
- Příloha č.6: výkres č. PZ5392-01-00-008, TAŽNÍK